

RICARDO GALLO

**ESPECTROSCOPIA NIR NA SELEÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus dunnii*
PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE**

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
2018

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

T

G172e Gallo, Ricardo, 1990-
2018 Espectroscopia NIR na seleção de clones de *Eucalyptus*
dunnii para produção de celulose / Ricardo Gallo. – Viçosa, MG,
2018.
xi, 102f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Marcos Deon Vilela de Resende.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Eucalipto - Melhoramento genético. 2. Eucalipto -
Seleção. 3. Clonagem. 4. IMACel (Programa de computador).
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal.
II. Título.

CDO adapt CDD 22. ed.634.91653

RICARDO GALLO


**ESPECTROSCOPIA NIR NA SELEÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus dunnii*
PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE**


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*.

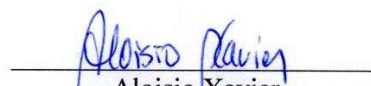
APROVADA: 11 de maio de 2018.


Thais Roseli Corrêa


Elizabete Keiko Takahashi


Vinícius Resende de Castro


Glêison Augusto dos Santos
(Coorientador)


Aloisio Xavier
(Presidente)

*Aos meus pais Maria e Osmar,
irmãs Carina e Maraisa,
e namorada Heloisa,
pelo incentivo, amor e orações.*

*Ao meu orientador
Marcos Deon Vilela de Resende.
Aos meus conselheiros
Glêison Augusto dos Santos e
Aloisio Xavier.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, pela realização do curso de doutorado e deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro ao trabalho desenvolvido. A CMPC Celulose Riograndense pelo apoio ao desenvolvimento do modelo de espectroscopia NIR para características da madeira e disponibilização dos dados experimentais

Aos meus orientadores Marcos Deon Vilela de Resende, Glêison Augusto dos Santos e Aloisio Xavier pelos ensinamentos e pela confiança. Serei eternamente grato.

Aos meus pais, pela educação, pelo exemplo de vida e por todas as orações.

As minhas irmãs pelo incentivo e preocupação.

À minha namorada Heloisa, por todo amor, companheirismo e ajuda nessa etapa.

À professora Isane Vera Karsburg pelo incentivo à pesquisa e ao apoio durante a graduação.

Aos inúmeros amigos que conquistei durante os anos de pós-graduação, pelo companheirismo e comemorações.

Aos amigos da Silvicultura e Genética e Melhoramento, pela troca de experiências.

Ao bolsista Igor Barcellos Pantuza, doutoranda Talita Baldin e doutorando Guilherme Ferreira Simiqueli pela ajuda com o desenvolvimento desse trabalho.

Aos companheiros de trabalho do Programa de Tecnologia e Desenvolvimento em Melhoramento Florestal (GenMFlor), pela troca de experiências, companheirismo e amizade.

À todas as pessoas de que alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

*“O sentido da vida está em você olhar para trás, e ver que alguns de seus sonhos foram realizados.
O sentido da vida está em você viver no presente e ver que você é feliz pelos sonhos realizados e feito alguém feliz.
O sentido da vida está em você observar e acreditar, que tudo valeu e que o mundo é feliz em ver que você realizou e fez dele melhor e que sua hora chegou.”*
(Chiquinho da Floresta, 2018)

BIOGRAFIA

RICARDO GALLO, filho de Osmar Aparecido Gallo e de Maria de Lourdes Martins Gallo, nasceu em 23 de janeiro de 1990, em Potirendaba, São Paulo.

Concluiu o 1º grau em 2004, na Escola Municipal Maestro Antônio Amato em Potirendaba, São Paulo, e o 2º grau em 2007, na Escola Cenecista Fraternidade Francisco de Assis, em Alta Floresta, Mato Grosso.

Em março de 2008, ingressou no Curso de Engenharia Florestal da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, campus de Alta Floresta, Mato Grosso, concluindo o curso em fevereiro de 2012.

Em novembro de 2012, ingressou no Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais, concluindo os requisitos necessários à obtenção do título de *Magister Scientiae* em dezembro de 2014.

Em março de 2015, ingressou no Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de Doutorado, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais, concluindo os requisitos necessários à obtenção do título de *Doctor Scientiae* em maio de 2018.

SUMÁRIO

PREÂMBULO	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL	2
REVISÃO DE LITERATURA	6
1. Plantio de espécies de <i>Eucalyptus</i> tolerantes ao frio.....	6
2. <i>Eucalyptus dunnii</i>	7
3. Espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) em características da madeira	8
4. Melhoramento de <i>Eucalyptus</i> com base em características da madeira	11
REFERÊNCIAS	15
CAPÍTULO 1	25
CRESCIMENTO E CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA NA SELEÇÃO DE CLONES DE <i>Eucalyptus dunnii</i> PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE	25
RESUMO	25
ABSTRACT	26
1. Introdução	27
2. Material e métodos	29
2.1 Rede experimental e materiais genéticos utilizados	29
2.2 Avaliações de crescimento	30
2.3 Avaliações das características da madeira.....	31
2.4 Modelo estatístico.....	33
3. Resultados e discussão	34
4. Conclusões	45
5. Referências	46
CAPÍTULO 2	51
PARÂMETROS GENÉTICOS E SELEÇÃO DE CLONES DE <i>Eucalyptus dunnii</i> EM CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA VIA NIR COM DIFERENTES AMOSTRAS DE SERRAGEM	51
RESUMO	51
ABSTRACT	53
1. Introdução	54
2. Material e métodos	55

2.1	Rede experimental e materiais genéticos utilizados	55
2.2	Avaliações de características da madeira	56
2.3	Modelos estatísticos	57
2.3.1	Análise conjunta entre amostras de serragem moídas e não moídas ...	57
2.3.2	Análise individual para amostras de serragem moídas e para amostras sem moer	59
3.	Resultados e discussão	60
3.1	Análise conjunta entre amostras moídas e não moídas	60
3.2	Análise individual para amostras de serragem moídas e para amostras sem moer	62
4.	Conclusões	74
5.	Referências	75
	CONCLUSÕES GERAIS	81
	ANEXOS	83

PREÂMBULO

O presente trabalho de doutorado, está organizado em 04 seções, com os seguintes tópicos:

- 1) Introdução Geral: contextualização da importância do trabalho do uso das características da madeira para seleção de clones de *Eucalyptus dunnii*.
- 2) Revisão de Literatura: revisão do estado da arte do plantio de espécies de *Eucalyptus* tolerantes ao frio como *E. dunnii* e do uso da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) nas características da madeira e sua utilização melhoramento de *Eucalyptus*.
- 3) Capítulos:
 - Crescimento e características da madeira na seleção de clones de *Eucalyptus dunnii* para produção de celulose.
 - Parâmetros genéticos e seleção de clones de *Eucalyptus dunnii* em características da madeira via NIR com diferentes amostras de serragem.
- 4) Conclusões Gerais: análise final das diferentes seções, ressaltando os principais pontos relevantes do trabalho, de acordo com os objetivos propostos.

RESUMO

GALLO, Ricardo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2018. **Espectroscopia NIR na seleção de clones de *Eucalyptus dunnii* para produção de celulose.** Orientador: Marcos Deon Vilela de Resende. Coorientadores: Glêison Augusto dos Santos e Aloisio Xavier.

Em um programa de melhoramento florestal deve ser inserido caracteres da madeira para ganhos expressivos na seleção de genótipos. Com base nisso, objetivou-se a seleção de clones de *Eucalyptus dunnii* em caracteres da madeira estimados via espectroscopia do infravermelho próximo (NIR). Este trabalho visou estimar a herdabilidade e as correlações genéticas das características de crescimento e da madeira, e estabelecer critérios de seleção visando o aumento da produção de celulose em clones de *E. dunnii* em diferentes ambientes. Visou também verificar as diferenças dos parâmetros genéticos e seleção de clones de *E. dunnii* com base em caracteres da madeira gerados via espectroscopia NIR com uso de amostras de serragem moídas e amostras de serragem sem moer. Foi utilizado uma rede experimental que pertence à empresa CMPC Celulose Riograndense, em delineamento experimental em blocos ao acaso, com parcela de árvore única, em três ambientes. Aos três anos e meio foram obtidos valores de crescimento, e com espectroscopia do infravermelho próximo, obtido valores de características da madeira. Foram observados incremento médio anual, densidade básica, rendimento de celulose, teor holocelulose, lignina Klason, lignina total, extrativos em água, extrativos totais e cinzas, bem como criado o índice fenotípico IMACel e o índice de rank médio. Foi utilizado um modelo linear misto via REML/BLUP para obtenção dos parâmetros genéticos e ordenamento dos valores genotípicos. Foi possível verificar que existe variância genética para os caracteres da madeira, portanto há possibilidade de ganhos genotípicos com a seleção dos clones de *E. dunnii*. Os caracteres da madeira em *E. dunnii* apresentam valores moderados a altos de herdabilidade, com acurácias seletivas altas. Foi possível obter correlações genéticas favoráveis para a seleção com base em caracteres da madeira para produção de celulose e papel. Houve interação do tipo simples para clones x ambientes, podendo ser selecionados clones nos três ambientes testados. Foram observadas diferenças nos parâmetros genéticos entre as amostras de serragem moídas e sem moer. A utilização do índice de rank médio possibilitou a seleção de genótipos superiores com base em todas as características da madeira. A seleção com base em amostras sem moer pode ser realizada desde que, levadas em consideração a acurácia seletiva para avaliação

com base em um único caráter. Com isso, esse trabalho verificou que há possibilidade de seleção visando o aumento da produção de celulose em clones de *E. dunnii* com base em caracteres de crescimento e da madeira estimados com uso de amostras sem moer por meio da espectroscopia NIR.

ABSTRACT

GALLO, Ricardo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2018. **NIR spectroscopy in the selection of *Eucalyptus dunnii* clones for cellulose production.** Advisor: Marcos Deon Vilela de Resende. Co-advisors: Glêison Augusto dos Santos and Aloisio Xavier.

In tree breeding program, wood traits should be used for significant gains in genotype selection. Based on this, we aimed the selection of *Eucalyptus dunnii* clones in wood traits estimated by near infrared spectroscopy (NIRS). The present study aimed to estimate genetic parameters and correlations of growth and wood traits; and establish a selection criteria to increase pulp yield in *E. dunnii* clones in different environments. It was also aimed to verify differences in genetic parameters and selection of *E. dunnii* clones through wood traits generated by NIRS with the use of ground sawdust samples and sawdust samples without milling. It was used an experimental network belonging to the company CMPC Celulose Riograndense, in a randomized block design, with a single tree plot, in three environments. Growth values were obtained from 3.5-year-old trees. Wood traits values were measured by near-infrared spectroscopy. Mean annual increment, basic density, cellulose yield, holocellulose content, Klason lignin, total lignin, extractives in water, total extractives, and ashes, as well as the MAICel phenotype index and the average rank index were observed. A mixed linear model was used via REML/BLUP to obtain the genetic parameters and genotypic value ordering. It was possible to verify that genetic variance exists for wood traits, so there is a possibility of genotypic gains with the selection of *E. dunnii* clones. The traits of the wood in *E. dunnii* present moderate to high values of heritability, with high selective accuracy. It was possible to obtain favorable genetic correlations for trait-based selection of wood for pulp and paper production. There was a simple type interaction for clones x environments, and clones could be selected in the three environments tested. Differences were observed in the genetic parameters between the sawdust samples and sawdust without milling. The use of the average rank index allowed the selection of superior genotypes based on all the traits of the wood. Selection based on sawdust without milling may be performed provided that, considering the selective accuracy for evaluation based on a single trait. Therefore, this work verified that there is possibility of selection aiming at increasing cellulose production in *E. dunnii* clones based on growth and wood traits estimated using samples without milling through NIR spectroscopy.

SEÇÃO 1
INTRODUÇÃO GERAL

INTRODUÇÃO GERAL

A demanda por produtos florestais tem sido alavancada nos últimos anos pela sua escassez e sua limitada oferta. Para solucionar o problema, a implantação de florestas vem apresentando relevante aumento, com intensificação da exploração de espécies dotadas de múltiplas aplicações de sua madeira, entre elas as espécies do gênero *Eucalyptus*, que apresentam características favoráveis neste quesito, tornando-se aquelas com maior área de exploração em diversas partes do mundo (SANTIAGO, 2013; SFB, 2017).

Em 2016 a área de florestas plantadas para fins industriais no Brasil totalizou 7,84 milhões de hectares. Os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares da área de florestas plantadas no país. Dentre os estados com maior área de plantio, destaca-se em quinto lugar o estado do Rio Grande do Sul, contribuindo com uma área de 308.178 ha de eucalipto (IBÁ, 2017).

Os plantios de *Eucalyptus* nas áreas frias do sul do Brasil sempre foram considerados um tabu, em razão dos efeitos deletérios das geadas sobre o desenvolvimento inicial e o posterior crescimento volumétrico e forma do fuste das diferentes espécies testadas para esse fim. Sendo assim a ocorrência de geadas é um dos fatores que limitam a produção de madeira e prejudicam a formação de plantios homogêneos de *Eucalyptus* no Sul do Brasil, bem como em outras regiões do mundo (HIGA et al., 1994; CARON et al., 2011; SANTOS et al., 2012; ELOY et al., 2013; MORAES et al., 2015).

No passado as principais espécies de *Eucalyptus* plantadas em regiões de clima frio eram o *E. viminalis* e o *E. dunnii*, e nos últimos anos houve interesse de uso do *E. benthamii*. Outras espécies citadas com potencial para uso nessa região seriam o *E. nitens*, *E. badjensis*, *E. dorrigoensis* e *E. smithii* (ASSIS e SANTOS, 2012).

O *E. dunnii* e *E. benthamii* mostraram-se promissores para plantios em regiões com ocorrência de geadas (EMBRAPA, 1988). O *E. dunnii* Maiden é uma espécie de bom crescimento, no qual apresenta um alto rendimento em celulose, alta densidade da madeira, baixo teor de lignina e, conseqüentemente, baixo consumo específico e menor consumo de cloro no branqueamento. Sua utilização comercial tem sido possível em várias regiões frias do Sul do Brasil, sendo capaz de se recuperar de geadas quando plantados em regiões mais altas do relevo (FONSECA et al., 2010; ASSIS e SANTOS, 2012).

A busca de materiais que produzam bem em regiões de geada se deu pelo aumento da demanda por fibras curtas (produzidas pelos *Eucalyptus*), no qual buscase características de interesse que não são encontradas em fibras longas (produzidas pelos *Pinus*), dentre elas a melhor qualidade da celulose para impressão, maior densidade da madeira, maior produtividade em toneladas de celulose.ha⁻¹.ano⁻¹, dentre outras (SANTOS et al., 2012).

Caracteres da madeira é um fator de extrema importância quando o objetivo é a produção de celulose com alto rendimento industrial (GOMES et al., 2015). Estudos dendrométricos para seleção de genótipos que detenham características de interesse para a indústria de papel e celulose são importantes (CASTRO et al., 2016).

Características da madeira como densidade e rendimento de celulose são importantes para ser inseridas em programas de melhoramento com foco na produção de celulose e papel (SILVA et al., 2009; MILAGRES et al., 2013; HAMILTON et al., 2017). Outras características como teor de cinzas, lignina e extrativos devem ser inseridas em programas de melhoramento, pois, afetam significativamente o rendimento do processo de polpação (GOMIDE et al., 2010).

Assim, em um programa de melhoramento florestal deve ser inserido caracteres da madeira para ganhos expressivos na seleção de genótipos. No entanto, estudos tecnológicos da madeira vêm sendo negligenciados em fases iniciais de programas de melhoramento florestal, em virtude do alto custo, tempo necessário para análise e à necessidade de cortar a árvore (SANTOS et al., 2016).

Como alternativa da medição não destrutiva que pode ser utilizado na predição das propriedades químicas, mecânicas, físicas e anatômicas da madeira é o método de espectroscopia no infravermelho próximo (Near Infrared Spectroscopy, NIRS) (TSUCHIKAWA e KOBORI, 2015; GEBRESELASSIE et al., 2017), no qual consiste em uma técnica rápida e acurada, aplicável em um grande número de amostras em processos on-line, e pode ser utilizado em qualquer substância cujas moléculas contenham, principalmente, ligações C-H, O-H, N-H, S-H ou C=O (HEIN et al., 2016).

O uso da tecnologia da espectroscopia NIR em estudos genéticos e para seleção com base nas características da madeira é vantajoso, pois, tais aplicações exigem a avaliação de fenótipos e um grande número de amostras coletadas em vários ambientes (GEBRESELASSIE et al., 2017). A estimativa desses parâmetros para as características da madeira via espectroscopia NIR tem demonstrado grande aplicação na seleção de genótipos (HARDNER et al., 2016; MAKOUANZI et al., 2017).

Modelos de espectroscopia NIR, podem discriminar uma maior variação genética e com isso obter maiores ganhos, sendo, portanto, um método confiável para seleção de genótipos melhorados (SCHIMLECK et al., 2004).

Com altos controles genéticos, as propriedades químicas e físicas da madeira devem ser usadas na seleção de genótipos em programas de melhoramento para características da madeira, juntamente com caracteres de crescimento que apresentam controles genéticos mais baixos (NUNES et al., 2016; MAKOUANZI et al., 2017).

Com base no contexto supracitado, objetivou-se a seleção de clones de *Eucalyptus dunnii* com base em caracteres da madeira estimados via espectroscopia do infravermelho próximo (NIR). Como objetivos específicos, este trabalho visou: 1) estimar a herdabilidade e as correlações genéticas dos caracteres de crescimento, densidade básica, rendimento de celulose, lignina Klason e extrativos totais, bem como estabelecer critérios de seleção com a criação do índice fenotípico IMACel visando o aumento da produção de celulose em clones de *Eucalyptus dunnii* em diferentes ambientes; e 2) avaliar as diferenças na estimativa de parâmetros genéticos e seleção de clones de *Eucalyptus dunnii* por meio de caracteres da madeira gerados via espectroscopia NIR com uso de amostras de serragem moídas e amostras de serragem sem moer.

SEÇÃO 2
REVISÃO DE LITERATURA

REVISÃO DE LITERATURA

1. Plantio de espécies de *Eucalyptus* tolerantes ao frio

Existem espécies que aparentemente se comportam bem em toda essa extensão territorial do Brasil, como *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. urophylla*, porém são sujeitas aos efeitos da geada (GOLFARI et al., 1978). Algumas geadas que foram registradas no sul do Brasil provocaram perdas de até 100 % em talhões de espécies suscetíveis, comprometendo o abastecimento de indústrias de base (HIGA et al., 1994).

As espécies de *Eucalyptus* economicamente importantes para as condições da Região Sul do Brasil constituem um pequeno número, as espécies *E. dunnii*, *E. benthamii*, *E. saligna* e *E. grandis*, são de boa aptidão para a produção de madeira para fins energéticos e/ou sólidos madeiráveis. Um segundo grupo de espécies também tem merecido atenção, formado por *E. viminalis*, *E. nitens*, *E. dorrigoensis*, *E. camaldulensis*, *E. cloeziana*, *E. badjensis*, *E. smithii* e ainda *Corymbia citriodora* (PALUDZYSZYN FILHO e SANTOS, 2005; ASSIS e SANTOS, 2012).

Das espécies supracitadas, as fontes de tolerância ao frio são *E. viminalis*, *E. nitens*, *E. benthamii*, *E. dunnii*, *E. badjensis*, *E. dorrigoensis*, e *E. smithii*. No qual o *E. dunnii* pode ser tratado como tolerante ao invés de resistente, sendo sua utilização comercial possível em regiões frias do Brasil plantada em áreas mais altas sem formação de geadas intensas (FONSECA et al., 2010; SANTOS et al., 2012).

Em contrapartida, praticamente todas as espécies tolerantes ao frio são recalcitrantes ao enraizamento, dificultando seu uso em programas clonais visando à tolerância ao frio. Nesse sentido, a hibridação é uma excelente alternativa para produzir indivíduos tolerantes que possam ser facilmente clonados (SANTOS et al., 2012).

Há alguns cruzamentos, que combinam espécies de clima temperado (por exemplo, *E. viminalis*) e espécies tropicais (como, *E. urophylla*), com grande potencial para serem utilizados em programas de seleção clonal para tolerância ao frio. O cruzamento entre essas espécies tem produzido heterose para crescimento, gerando muitos indivíduos candidatos a se tornarem clones produtivos, potencialmente tolerantes ao frio e que ainda apresentam facilidade de serem propagados comercialmente (ASSIS e SANTOS, 2012).

2. *Eucalyptus dunnii*

Eucalyptus dunnii Maiden é uma espécie muito utilizada na Região Sul do território brasileiro. Sua faixa de ocorrência natural na Austrália é muito restrita, distribuindo-se em áreas descontínuas na região de Coffs Harbour em New South Wales e no Sul de Queensland, entre as latitudes de 28° a 30° 15' S e altitudes de 220 a 860 m. O clima da região é quente e úmido, mas sujeito a frequentes geadas no inverno (20 a 60 vezes ao ano), cujos intervalos de temperaturas médias, máximas e mínimas são de 24 a 29 ° C e 2 a 5 ° C, respectivamente (BROOKER e KLEINIG, 2006; FONSECA et al., 2010).

As geadas na região de ocorrência natural do *E. dunnii* podem ocorrer de 30 a 60 dias, na área de ocorrência natural. A precipitação pluviométrica média anual situa-se em torno de 1.000 a 1.600 mm, sendo relativamente bem distribuída, com o máximo de chuvas no verão, mas nunca inferior a 40 mm em todos os meses do ano (BROOKER e KLEINIG, 2006; FONSECA et al., 2010).

O melhor crescimento da espécie supracitada se dá em solos úmidos e altamente férteis de origem basáltica, mas ocorre também em solos de origem sedimentar e bem drenados. Em virtude de sua distribuição geográfica na Austrália, não há grandes variações entre procedências, sendo as mais conhecidas as de Urbenville, Moleton, Acacia Kreek e Ded Horse (BROOKER e KLEINIG, 2006; FONSECA et al., 2010).

O *E. dunnii* é indicado para plantios em regiões com temperaturas mínimas absolutas de até -5 ° C sob condições de aclimação prévia por gradual abaixamento de temperatura na estação fria, suportando até 22 geadas anuais contra oito geadas anuais de *E. saligna* (FAO, 1981). Sob geadas fortes, fora da época normal de ocorrência, a mortalidade pode atingir 50 % das plantas em plantios comerciais, conforme observado sob temperatura de -15 ° C na Argentina (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2006).

À semelhança de outras espécies de eucaliptos de rápido crescimento, *E. dunnii* cresce anualmente, em média, 3 m em altura e 3 cm em diâmetro do tronco, tendo como característica do fuste em povoamentos adultos e densos, a ausência de galhos até os 30 m de altura e sua casca pode assumir diferentes aparências como a ocorrência de desprendimento gradativo da casca de cima para baixo no tronco, na forma de longas fitas (PALUDZYSZYN FILHO e SANTOS, 2005).

A madeira de *E. dunnii* é considerada de resistência média com densidade básica de 500 kg.m^{-3} , aproveitável para fins energéticos, estruturas leves, confecção de painéis reconstituídos e para celulose, possui cor clara, devendo o desdobro das toras ser feito por cortes no sentido tangencial (ROCHA e TOMASELLI, 2002).

Na Austrália, o *E. dunnii* superou as espécies tradicionalmente cultivadas como *E. grandis* e *E. pilularis*, em idades entre 15 e 18 anos, tornando-se prioritária para plantios em New South Wales (JOHNSON e STANTON, 1993). Na Argentina, *E. dunnii* superou em crescimento *E. saligna*, *E. viminalis* e *E. grandis* (PALUDZYSZYN FILHO e SANTOS, 2005). Na África do Sul, *E. dunnii* mostrou bom crescimento em três regiões frias e secas (DARROW, 1995), superando *E. grandis* em rotações curtas (SWAIN, 1996). Na China, nas áreas de clima temperado até 900 m de altitude, *E. dunnii* apresentou comportamento estável, mostrando boa adaptação, crescimento e forma de fuste (WANG et al., 1999).

No Brasil o *E. dunnii* apresentou razoável crescimento volumétrico, com produtividades que variaram entre 20 e $33 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Porém, para atingir essas produtividades, a espécie deve ser plantada apenas em áreas mais altas do revele em relação à área de plantio, onde não ocorre a formação de geadas intensas (SANTOS, et al., 2012). Apesar do *E. dunnii* apresentar um bom crescimento, é considerado uma espécie tolerante ao frio, sendo capaz de se recuperar após as geadas, quando plantada em áreas mais altas do relevo (ASSIS e SANTOS, 2012).

3. Espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) em características da madeira

O processo de produção de celulose e papel requer um controle rigoroso das características da madeira para produzir a polpa celulósica, no qual, deve ser garantidos padrões específicos no produto final (SAMISTRARO, 2008). O setor de celulose e papel cada dia mais necessita de um monitoramento confiável e acima de tudo rápido para avaliação de sua matéria-prima (SAMISTRARO, 2008; MUÑIZ et al., 2012).

Técnicas alternativas como modelos de métodos multivariados usando espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) têm se mostrado uma ferramenta valiosa na análise da qualidade da matéria-prima empregada no setor florestal (HEIN et al., 2009; MUÑIZ et al., 2012).

A espectroscopia NIR, tem se mostrado como uma ferramenta eficiente no controle de qualidade de processos industriais (TREVISAN e POPPI, 2006). Tem sido amplamente utilizada em diversos segmentos da indústria como o alimentício, rações, petroquímica, têxtil, farmacêutico, e nas diferentes áreas de conhecimento como ciências agrícolas, biotecnologia, medicina, química clínica e ciências ambientais (SAMISTRARO, 2008; TSUCHIKAWA e KOBORI, 2015).

A espectroscopia NIR apresenta diversas vantagens quando comparado aos métodos químicos tradicionais, tais como: a ausência ou mínima preparação da amostra; a rapidez de leitura; é uma técnica limpa; um método não destrutivo e não invasivo; possui baixo custo operacional; é aplicável a um grande número de amostras com distintos grupos químicos (C-H, N-H, S-H, O-H); e tem a possibilidade de monitoramento online e de múltiplas análises em um único espectro (PASQUINI, 2003; SAMISTRARO, 2008; MUÑIZ et al., 2012; LI e ALTANER, 2018).

A espectroscopia NIR é baseada na espectroscopia vibracional e consiste na exposição de amostras à radiação eletromagnética na região de comprimento de onda, que varia de 750 a 2.500 nm, para se obter os espectros de absorbâncias (MUÑIZ et al., 2012). Pode ser feita, então, a correlação destes com os resultados de análises laboratoriais convencionais para a geração de um modelo estatístico de forma a estimar a maioria das informações contidas nos espectros (WILLIAMS e NORRIS, 2001).

A tecnologia da espectroscopia NIR tornou-se uma ferramenta indispensável para assegurar a qualidade de seus produtos e, neste contexto, acredita-se que as indústrias de base florestal devem seguir. Isto pode ser observado, mediante pesquisas para predição das características da madeira com a espectroscopia no infravermelho, apresentando altas correlações (MUÑIZ *et al.*, 2012).

O rendimento e conteúdo de celulose em *Eucalyptus globulus* com uso da espectroscopia NIR foi verificado em trabalho de Downes et al. (2012), obtendo resultados potenciais com o uso da espectroscopia como uma ferramenta para avaliar as características da madeira para polpação, bem como descrever a variação radial do conteúdo e rendimento de celulose.

Michell e Schimleck (1998), desenvolveram modelos de calibração usando espectroscopia NIR para avaliar o rendimento de celulose de *E. globulus* e *E. nitens* em amostras retiradas de indivíduos no campo, e obtiveram erros padrões baixos com a calibração, mostrando similaridade entre o rendimento previsto com os valores reais.

Tyson et al. (2009), usaram modelos de calibração usando espectroscopia NIR existentes com base em amostras do Brasil central para estimar a produtividade de celulose e características da madeira em amostras de plantações localizadas no sul do Brasil. Os autores concluíram que as calibrações nos modelos NIR das propriedades para lignina e conteúdo pentose, desenvolvidos com espécies de *Eucalyptus* e híbridos no Brasil central, podem ser aplicados em outra população de *Eucalyptus* no sul do Brasil.

De acordo com He e Hu (2013), a espectroscopia NIR foi também capaz de estimar com rapidez e eficiência conteúdos de extrativos e lignina na madeira de 147 espécies de árvores, dentre elas, espécies do gênero *Eucalyptus*. Estopa et al. (2017), também obtiveram modelos com capacidade preditiva aceitável para teores de lignina e extrativos para *Eucalyptus benthamii*.

Schimleck et al. (1999), determinaram a precisão da estimativa da densidade básica da madeira com uso da espectroscopia NIR com amostras retiradas de árvores em pé em plantações de *Eucalyptus* onde observaram que a densidade básica da madeira variou de 378-656 kg.m⁻³ com um erro de ± 30 kg.m⁻³, com o uso de medidas de densidade com Pilodyn em amostras semelhantes, o erro variou em ± 22 kg.m⁻³.

Kube e Raymond (2002), investigaram o potencial para prever a densidade básica em amostras de árvores de *E. nitens* com de 12 anos de idade e em três locais na Tasmânia. Os autores observaram que as amostras retiradas no fuste dos indivíduos explicam de 85 a 92% da variação na densidade em toda a árvore.

Também em *E. nitens*, Schimleck et al. (2006), comparando a densidade obtida pela secagem ao ar com a espectroscopia NIR, obtiveram correlação com um coeficiente de determinação (R²) de 89% entre a densidade seca ao ar e medida de predição com uso do espectro NIR, porém, a calibração mostrou um ligeiro viés e tendeu a superestimar a densidade.

Com isso, o uso da espectroscopia NIR para caracteres da madeira, pode ser utilizada para a análise química (MILAGRES et al., 2013; RAMADEVI et al., 2016; SANDAK et al., 2016; HEIN et al., 2017) e física (SCHIMLECK et al., 2005; HEIN et al., 2009; GALLEGUILLOS-HART et al., 2010; INAGAKI et al., 2012; HEIN et al., 2016) da madeira. Outra aplicação da espectroscopia NIR no setor florestal, é como ferramenta para distinguir espécies e/ou híbridos (BRAGA et al., 2011; ESPINOZA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2015), e distinguir carvão vegetal de madeiras nativas (DAVRIEUX et al., 2010; NISGOSKI et al., 2015).

4. Melhoramento de *Eucalyptus* com base em características da madeira

Historicamente, o melhoramento genético de *Eucalyptus* foi baseado principalmente em características relacionadas à produtividade de madeira por hectare. A partir da década de 1990, o setor florestal investiu em programas de melhoramento que visasse atender também a parâmetros tecnológicos da madeira, mais relacionado ao que se refere à caracteres da madeira para celulose (SILVA e HIGA, 2012).

Os programas de melhoramento florestal que demandam informações sobre a qualidade tecnológica da madeira veem aderindo, nos últimos anos, a utilização da espectroscopia no infravermelho próximo (TSUCHIKAWA e KOBORI, 2015; GEBRESELASSIE et al., 2017). As intervenções genéticas nos povoamentos florestais podem ser facilitadas pelo uso da técnica usando espectroscopia NIR, que possibilita análises não destrutivas de grande quantidade de amostras, com tempo e custo consideravelmente menor (GEBRESELASSIE et al., 2017).

Ao se desenvolverem programas de melhoramento genético para determinada finalidade, é fundamentalmente importante conhecer os níveis de variabilidade nas características de interesse e a magnitude do controle genético envolvido na sua expressão (ASSIS, 2001). Caso exista variabilidade e, principalmente, se a participação de componentes genéticos na manifestação das características for alta, será possível melhorar geneticamente a característica (SILVA e HIGA, 2012).

Os caracteres relacionados à características da madeira apresentam, de forma geral, elevado controle genético (SANTOS et al., 2010; NUNES et al., 2016). O conhecimento das estimativas dos parâmetros genéticos, além de sua importância na inferência sobre o controle genético dos diferentes caracteres e comparação de métodos de seleção, é essencial nos procedimentos de predição dos valores genéticos e, portanto, na seleção propriamente dita (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 (RESENDE, 2002).

Com isso, na Tabela 1, são apresentadas estimativas de parâmetros genéticos ao nível de indivíduo para algumas espécies florestais com base em caracteres da madeira obtidos via espectroscopia NIR.

As características da madeira variam entre espécies e entre indivíduos dentro das espécies. Esta variabilidade é hereditária e pode ser aproveitada em programas de

melhoramento para o desenvolvimento de variedades com melhorias nas características da madeira (DOWNES et al., 1997).

De acordo com Meder (2015), a capacidade de prever rapidamente e de forma não destrutiva um número de características de madeira usando espectros NIR obtidos de cavacos de madeira coletados no DAP, pode fornecer aos melhoristas informações sobre características de importância econômica em todas as árvores dentro de uma rede de experimentos.

Baillères et al. (2002), coletaram amostras de madeira dos melhores genótipos de plantações híbridas de *Eucalyptus* em famílias de irmãos completos no Congo, no qual, analisaram correlações dos espectros NIR com teor de extrativos e composição de lignina, e concluíram que a espectroscopia NIR pode ser utilizada para estimar as características da madeira em programas de melhoramento de eucalipto.

Raymond e Schimleck (2002), desenvolveram calibrações para a estimativa do teor de celulose em *E. globulus* usando espectros NIR, onde foi determinado a herdabilidade do conteúdo de celulose, juntamente com as correlações genéticas com o diâmetro das árvores, densidade básica e estimativa do rendimento de polpa.

Schimleck et al. (2004), avaliaram os ganhos genéticos em celulose de *E. nitens*, comparando o conteúdo de celulose pela metodologia convencional com estimativas obtidas pela calibração de espectros NIR. Os autores concluíram que o conteúdo de celulose obtido pela espectroscopia NIR apresenta forte relação com rendimento de polpa Kraft, apresentando forte controle genético, com herdabilidade semelhante àquela obtida pela medida direta de celulose. Significativamente, os ganhos genéticos com base no conteúdo de celulose com uso da espectroscopia NIR foram elevados, como também com o uso da medida direta, portanto, o conteúdo de celulose pode ser obtido utilizando as estimativas oriundas da espectroscopia NIR.

Tabela 1. Estimativas do parâmetro genético herdabilidade individual no sentido restrito (h_a^2) em *Eucalyptus* spp. com base em caracteres da madeira obtidos via espectroscopia NIR.

Espécie	Idade (anos)	Composição	h^2	Referência
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	3	Lignina	$h_a^2 = 0,09 - 0,48$	(VARGHESE et al., 2017)
		Rendimento de celulose	$h_a^2 = 0,15 - 0,61$	
<i>Eucalyptus</i> spp.	3,7	Rendimento de celulose	$h_a^2 = 0,42$	(RESENDE et al., 2012)
<i>Eucalyptus benthamii</i> Maiden & Cambage	4	Carboidratos	$h_a^2 = 0,616$	(ESTOPA et al., 2017)
		Densidade básica	$h_a^2 = 0,686$	
		Extrativos	$h_a^2 = 0,716$	
		Lignina	$h_a^2 = 0,454$	
<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden	5	Densidade básica	$h_a^2 = 0,06$	(HARDNER et al., 2016)
		Rendimento de celulose	$h_a^2 = 0,14$	
<i>Eucalyptus cloeziana</i> F. Muell.	9,5	Densidade básica	$h_a^2 = 0,09$	(LI et al., 2017)
		MOE	$h_a^2 = 0,09$	
		MOR	$h_a^2 = 0,12$	
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	10	Rendimento de celulose	$h_a^2 = 0,26$	(HAMILTON et al., 2017)
<i>Eucalyptus urophylla</i> S.T. Blake × <i>E. tereticornis</i> Sm	10	Conteúdo de celulose	$h_a^2 = 0,09 - 0,36$	(CHEN et al., 2018)
		Conteúdo de hemicelulose	$h_a^2 = 0,03 - 0,24$	
		Densidade básica	$h_a^2 = 0,12 - 0,22$	
		Lignina Klason	$h_a^2 = 0,10 - 0,16$	
		Razão S/G	$h_a^2 = 0,23 - 0,49$	
<i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell.	10	Ângulo microfibrilar	$h_a^2 = 0,37$	(HUNG et al., 2015)
		Densidade básica	$h_a^2 = 0,20$	
		MOE	$h_a^2 = 0,39$	
		Rendimento de celulose	$h_a^2 = 0,34$	
<i>Eucalyptus nitens</i> (Deane & Maiden) Maiden	13	Conteúdo de celulose	$h_a^2 = 0,56 - 0,73$	(SCHIMLECK et al., 2004)
<i>Eucalyptus urophylla</i> S.T. Blake	14	Ângulo microfibrilar	$h_a^2 = 0,33 - 0,45$	(HEIN et al., 2012)
		Densidade básica	$h_a^2 = 0,40 - 0,61$	
		Lignina Klason	$h_a^2 = 0,76$	
		Razão S/G	$h_a^2 = 0,71$	
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	16	Densidade básica	$h_a^2 = 0,51$	(STACKPOLE et al., 2011)
		Extrativos	$h_a^2 = 0,25$	
		Lignina Klason	$h_a^2 = 0,27$	
		Razão S/G	$h_a^2 = 0,44$	
		Rendimento de celulose	$h_a^2 = 0,39$	

A seleção de genótipos superiores não deve ser baseada apenas nos caracteres da madeira. As características de crescimento das árvores devem ser consideradas, para garantir a seleção de genótipos superiores em todos os quesitos exigidos pela indústria de celulose (NUNES et al., 2016). Entretanto, caracteres como volume e altura das árvores são controlados por muitos genes e apresentam baixo controle genético (STURION; RESENDE; CARPANEZZI, 1999). Com isso, é necessário o desenvolvimento de métodos de seleção de indivíduos superiores, que considerem, simultaneamente, caracteres da madeira (alto controle genético no geral) e de crescimento (baixo controle genético), tornando o processo seletivo mais eficiente (NUNES et al., 2016).

REFERÊNCIAS

ASSIS, T. F. *Estratégia de melhoramento para a obtenção de madeira de qualidade para laminação e serraria*. 2001, Curitiba: FUPEF: UFPR, 2001. p. 1–18.

ASSIS, T. F.; SANTOS, G. A. . Potencialidade de híbridos com *Eucalyptus benthamii*. In: SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A. (Org.). *Silvicultura e melhoramento genético de Eucalyptus benthamii*. [S.l.]: Imprensa Universitária: UFPR, 2012. p. 61–74.

BAILLÈRES, H.; DAVRIEUX, F.; HAM-PICHAVANT, F. Near infrared analysis as a tool for rapid screening of some major wood characteristics in a *Eucalyptus* breeding program. *Annals of Forest Science*, v. 59, n. 5–6, p. 479–490, 2002.

BRAGA, J. W. B. *et al.* The use of near infrared spectroscopy to identify solid wood specimens of *Swietenia macrophylla* (cites appendix ii). *IAWA Journal*, v. 32, n. 2, p. 285–296, 2011.

BROOKER, M. I. H.; KLEINIG, D. A. *Field guide to Eucalyptus*. 3. ed. Melbourne: Bloomings Books, 2006.

CARON, B. O. *et al.* Resistência inicial de quatro espécies arbóreas em diferentes espaçamentos após ocorrência de geada. *Ciência Rural*, v. 41, n. 5, p. 817–822, 2011.

CASTRO, C. A. O. *et al.* Brief history of *Eucalyptus* breeding in Brazil under perspective of biometric advances. *Ciência Rural*, v. 46, n. 9, p. 1585–1593, 2016.

CHEN, S. *et al.* Genetic parameters for growth and wood chemical properties in *Eucalyptus urophylla* × *E. tereticornis* hybrids. v. 2, p. 1–11, 2018.

DARROW, W. . Selection of eucalypt species for cold and dry areas in South Africa. 1995, Hobart: CRC, 1995. p. 336–338.

DAVRIEUX, F. *et al.* Discrimination of native wood charcoal by infrared spectroscopy. *Quimica Nova*, v. 33, n. 5, p. 1093–1097, 2010.

DOWNES, G. M. *et al.* Radial variation in Kraft pulp yield and cellulose content in *Eucalyptus globulus* wood across three contrasting sites predicted by near infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 42, n. 8, p. 1577–1586, 2012.

DOWNES, G. M. *et al.* *Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties*. Melbourne, Australia: CSIRO, 1997.

ELOY, E. *et al.* Ocorrência de geada nas espécies florestais *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus grandis* na região norte do Rio Grande do Sul. *Enciclopedia Biosfera*, v. 9, n. 16, p. 1626–1633, 2013.

EMBRAPA. *Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina*. , nº 21. Colombo: [s.n.], 1988.

ESPINOZA, J. A.; HODGE, G. R.; DVORAK, W. S. The potential use of near infrared spectroscopy to discriminate between different pine species and their hybrids. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, v. 20, n. 4, p. 437–447, 2012.

ESTOPA, R. A. *et al.* NIR spectroscopic models for phenotyping wood traits in breeding programs of *Eucalyptus benthamii*. *Cerne*, v. 23, n. 3, p. 367–375, 2017.

FAO. *El eucalipto en la repoblacion forestal*. . Roma: [s.n.], 1981.

FONSECA, S. M. *et al.* *Manual Prático de Melhoramento Genético do Eucalipto*. Viçosa: UFV, 2010.

GALLEGUILLOS-HART, C.; FERNÁNDEZ, M. P.; ANDRÉS, G. A portable method to estimate wood basic density from increment cores using spectroscopic techniques. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, v. 18, n. 6, p. 465–472, 2010.

GEBRESELASSIE, M. N. *et al.* Near-infrared spectroscopy enables the genetic analysis of chemical properties in a large set of wood samples from *Populus nigra* (L.) natural populations. *Industrial Crops and Products*, v. 107, p. 159–171, 2017.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOJRA, V. P. G. Para, Zoneamento ecológico esquemático Brasil, reflorestamento no. *Série técnica PRODEPEF*, v. 11, n. 1–66, 1978.

GOMES, F. J. B. *et al.* Thorough Characterization of Brazilian New Generation of Eucalypt Clones and Grass for Pulp Production. *International Journal of Forestry Research*, v. 2015, p. 1–10, 2015.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. Análise de Critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de Celulose Kraft. *Revista Árvore*, v. 34, n. 2, p. 339–344, 2010.

HAMILTON, M. G. *et al.* Independent lines of evidence of a genetic relationship between acoustic wave velocity and kraft pulp yield in *Eucalyptus globulus*. *Annals of Forest Science*, v. 74, n. 1, p. 17, 2017.

HARDNER, C. M. *et al.* Improving prediction accuracy and selection of open-pollinated seed-lots in *Eucalyptus dunnii* Maiden using a multivariate mixed model approach. *Annals of Forest Science*, v. 73, n. 4, p. 1035–1046, 2016.

HE, W.; HU, H. Rapid prediction of different wood species extractives and lignin content using near infrared spectroscopy. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, v. 33, n. 1, p. 52–64, 2013.

HEIN, P. R. G. *et al.* Age trends of microfibril angle inheritance and their genetic and environmental correlations with growth, density and chemical properties in *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake wood. *Annals of Forest Science*, v. 69, n. 6, p. 681–691, 2012.

HEIN, P. R. G. *et al.* Estimativa da resistência e da elasticidade à compressão paralela às fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* usando a espectroscopia no infravermelho próximo. *Scientia Forestalis*, v. 37, n. 82, p. 119–129, 2009.

HEIN, P. R. G. *et al.* Spatial variation of wood density, stiffness and microfibril angle along *Eucalyptus* trunks grown under contrasting growth conditions. *Trees*, v. 30, n. 3, p. 871–882, 2016.

HEIN, P. R. G.; LIMA, J. T.; CHAIX, G. Robustness of models based on near infrared spectra to predict the basic density in *Eucalyptus urophylla* wood. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, v. 17, n. 3, p. 141–150, 2009.

HEIN, P. R. G.; PAKKANEN, H. K.; DOS SANTOS, A. A. Challenges in the use of near infrared spectroscopy for improving wood quality: A review. *Forest Systems*, v. 26, n. 3, p. 1–10, 2017.

HIGA, A. R.; GARCIA, C. H.; SANTOS, E. T. Geadas, prejuízos à atividade florestal. *Silvicultura*, v. 15, n. 58, p. 40–43, 1994.

HUNG, T. D. *et al.* Estimates of genetic parameters for growth and wood properties in *Eucalyptus pellita* F. Muell. to support tree breeding in Vietnam. *Annals of Forest Science*, v. 72, n. 2, p. 205–217, 2015.

IBÁ. *Relatório Anual. Relatório 2017*. [S.l: s.n.], 2017.

INAGAKI, T. *et al.* *Eucalyptus camaldulensis* density and fiber length estimated by near-infrared spectroscopy. *Wood Science and Technology*, v. 46, n. 1–3, p. 143–155, 2012.

JOHNSON, I. G.; STANTON, R. R. *Thirty years of eucalypt species and provenance trials in New South Wales: survival and growth in trials established from 1961 to 1990*. Research paper., n° 20. Sydney: [s.n.], 1993.

KUBE, P. D.; RAYMOND, C. A. No Prediction of whole-tree basic density and pulp yield using wood core samples in *Eucalyptus nitens*. *Appita Journal*, v. 55, p. 43–48, 2002.

LI, C. *et al.* Genetic parameters for growth and wood mechanical properties in *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. *New Forests*, v. 48, n. 1, p. 33–49, 2017.

LI, Y.; ALTANER, C. Predicting extractives content of *Eucalyptus bosistoana* F. Muell. Heartwood from stem cores by near infrared spectroscopy. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 198, p. 78–87, 2018.

MAKOUANZI, G.; CHAIX, G.; NOURISSIER, S. Genetic variability of growth and wood chemical properties in a clonal population of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* in the Congo. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, p. 1–8, 2017.

MEDER, R. The magnitude of tree breeding and the role of near infrared spectroscopy. *NIR News*, v. 26, n. 3, p. 8–10, 2015.

MICHELL, A. J.; SCHIMLECK, L. R. Developing a method for the rapid assessment of pulp yield of plantation eucalypt trees beyond the year 2000. *Appita Journal*, v. 51, n. 6, p. 428–432, 1998.

MILAGRES, F. R. *et al.* Influência da idade na geração de modelos de espectroscopia NIR, para predição de propriedades da madeira de *Eucalyptus* spp. *Revista Árvore*, v. 37, n. 6, p. 1165–1173, 2013.

MORAES, C. B. DE *et al.* Variabilidade genética em progênies de neios-irmãos de eucaliptos para tolerância ao frio. *Revista Árvore*, v. 39, n. 6, p. 1047–1054, 2015.

MUÑIZ, G. I. B. DE *et al.* Fundamentos e estado da arte da espectroscopia no infravermelho próximo no setor de base florestal. *Ciência Florestal*, v. 22, n. 4, p. 865–875, 2012.

NISGOSKI, S. *et al.* NIR and anatomy of wood and charcoal from Moraceae and Euphorbiaceae species. *Revista Ciência da Madeira*, v. 6, n. 3, p. 183–190, 2015.

NUNES, A. C. P. *et al.* Estabelecimento de zonas de melhoramento para clones de eucalipto no Rio Grande do Sul. *Scientia Forestalis*, v. 44, n. 111, p. 563–574, 2016.

OLIVEIRA, A. A. *et al.* Identificação de Madeiras utilizando a Espectrometria no Infravermelho Próximo e Redes Neurais Artificiais. *Tendências em Matemática Aplicada e Computacional*, v. 16, n. 2, p. 81, 2015.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. *Considerações sobre o plantio de Eucalyptus dunnii no estado do Paraná. Comunicado Técnico, n. 141.* Colombo: [s.n.], 2005.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. S.; FERREIRA, C. A. *Eucaliptos indicados para plantios no estado do Paraná.* Embrapa Florestas. [S.l: s.n.], 2006.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: Fundamentals, practical aspects and analytical applications. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 14, n. 2, p. 198–219, 2003.

RAMADEVI, P. *et al.* Evaluation of lignin syringyl/guaiacyl ratio in *Eucalyptus camaldulensis* across three diverse sites based on near infrared spectroscopic calibration modelling with five *Eucalyptus* species and its impact on Kraft pulp yield. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, v. 24, n. 6, p. 529–536, 2016.

RAYMOND, C.; SCHIMLECK, L. Development of near infrared reflectance analysis calibrations for estimating genetic parameters for cellulose content in *Eucalyptus globulus*. *Canadian Journal of Forest*, 2002.

RESENDE, M. D. V. *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes.* Brasília: Embrapa informações tecnológicas, 2002.

RESENDE, M. D. V. *et al.* Genomic selection for growth and wood quality in *Eucalyptus*: Capturing the missing heritability and accelerating breeding for complex traits in forest trees. *New Phytologist*, v. 194, n. 1, p. 116–128, 2012.

ROCHA, M. P.; TOMASELLI, I. Efeito do modelo de desdobro na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus dunnii*. *Cerne*, v. 8, n. 2, p. 94–103, 2002.

SAMISTRARO, G. *Propriedades químicas e físicas da polpa e papel kraft por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)*. 2008. 115 f. Universidade Federal do Paraná, 2008.

SANDAK, J.; SANDAK, A.; MEDER, R. Assessing trees, wood and derived products with near infrared spectroscopy: Hints and tips. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, v. 24, n. 6, p. 485–505, 2016.

SANTIAGO, F. L. *Aproveitamento de resíduos florestais de Eucalyptus spp. na indústria de fabricação de celulose para geração de energia térmica e elétrica*. [S.l.: s.n.], 2013.

SANTOS, F. W. *et al.* Variação genética para caracteres anatômicos e retração volumétrica e sua correlação com a densidade básica da madeira em uma população base de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. *Scientia Forestalis*, v. 86, n. 86, p. 159–170, 2010.

SANTOS, G. A. *et al.* Genetic control and genotype-by-environment interaction of wood weight in *Eucalyptus* clones in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Árvore*, v. 40, n. 5, p. 867–876, 2016.

SANTOS, G. A. *et al.* Potencial da silvicultura clonal de *Eucalyptus benthamii* para o sul do Brasil. In: SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A. (Org.). *Silvicultura e melhoramento genético de Eucalyptus benthamii*. [S.l.]: Imprensa Universitária: UFPR, 2012. p. 77–102.

SCHIMLECK, L. R. *et al.* Estimation of basic density of *Eucalyptus globulus* using near-infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 29, n. 2, p. 194–201, 1999.

SCHIMLECK, L. R. *et al.* Estimation of microfibril angle and stiffness by near infrared spectroscopy using sample sets having limited wood density variation. *IAWA Journal*, v. 26, n. 2, p. 175–187, 2005.

SCHIMLECK, L. R.; DOWNES, G. M.; EVANS, R. Estimation of *Eucalyptus nitens* wood properties by near infrared spectroscopy. *Appita Journal*, v. 59, p. 136–141, 2006.

SCHIMLECK, L. R.; KUBE, P. D.; RAYMOND, C. A. Genetic improvement of kraft pulp yield in *Eucalyptus nitens* using cellulose content determined by near infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 34, p. 2362–2370, 2004.

SFB, S. F. B. *Boletim SNIF 2017.* , nº 1. [S.l: s.n.], 2017.

SILVA, J. C. *et al.* Genetic parameters for growth, wood density and pulp yield in *Eucalyptus globulus*. *Tree Genetics & Genomes*, v. 5, n. 2, p. 291–305, 2009.

SILVA, L. D.; HIGA, A. R. Estratégia de melhoramento do *Eucalyptus benthamii*. In: SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A. (Org.). *Silvicultura e melhoramento genético de Eucalyptus benthamii*. [S.l.]: Imprensa Universitária: UFPR, 2012. p. 20–37.

STACKPOLE, D. J. *et al.* Genetic Variation in the Chemical Components of *Eucalyptus globulus* Wood. *Genes, Genomes, Genetics*, v. 1, n. 2, p. 151–159, 2011.

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V.; CARPANEZZI, A. A. Controle genético e estimativa de ganho genético para peso de massa foliar em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). *Boletim de Pesquisa Florestal*, v. 38, p. 5–12, 1999.

SWAIN, T. L. *A status report on the trials in the ICFR cold tolerant Eucalyptus breeding program.* , 96., n° 2. Scottsville: [s.n.], 1996.

TREVISAN, M. G.; POPPI, R. J. Química analítica de processos. *Química Nova*, v. 29, n. 5, p. 1065–1071, 2006.

TSUCHIKAWA, S.; KOBORI, H. A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. *Journal of Wood Science*, v. 61, n. 3, p. 213–220, 2015.

VARGHESE, M. *et al.* Growth and wood properties of natural provenances, local seed sources and clones of *Eucalyptus camaldulensis* in southern India: implications for breeding and deployment. *New Forests*, v. 48, n. 1, p. 67–82, 2017.

WANG, G. *et al.* Seed source variation for growth in *Eucalyptus dunnii*, results from trials in south central China. *Australian Forestry*, n. Fao 1981, p. 120–127, 1999.

WILLIAMS, P.; NORRIS, K. *Near-infrared technology*. 2. ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemistry, 2001.

SEÇÃO 3
CAPÍTULOS

CAPÍTULO 1

CRESCIMENTO E CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA NA SELEÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus dunnii* PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE

RESUMO

O *Eucalyptus dunnii* é uma espécie de destaque para características de crescimento e de madeira. No entanto, as características da madeira, importantes para o setor de celulose e papel, são desconsiderados para esta espécie em programas de melhoramento. O presente estudo buscou estimar os parâmetros genéticos dos caracteres de crescimento e da madeira, bem como estabelecer critérios de seleção com a criação do índice fenotípico IMACel visando o aumento da produção de celulose em clones de *E. dunnii* em diferentes ambientes. O teste clonal de *E. dunnii* foi estabelecido em delineamento experimental em blocos ao acaso, com parcela de árvore única, 20 repetições e em três ambientes. Aos 3,5 anos foram obtidos valores de crescimento, e com espectroscopia do infravermelho próximo, obtido valores das características da madeira. Com valores de IMAvol, densidade básica e rendimento de celulose foi criado o índice fenotípico IMACel. Foi utilizado um modelo linear misto via REML/BLUP para obtenção dos parâmetros genéticos e ordenamento dos valores genotípicos considerando vários ambientes. Existe variância genética para os caracteres da madeira em *E. dunnii*. Herdabilidade alta no sentido amplo foi observada para lignina Klason; moderada para densidade básica, rendimento de celulose, IMACel e IMAvol; e baixa para altura total, extrativos totais e diâmetro à altura do peito. Todas características apresentaram acurácia seletiva acima de 0,70. Foi observado interação simples entre clones x ambientes para os locais testados. Foi possível identificar o clone 9 como elite e distinto a testemunha comercial e o clone 63, classificado com risco e oportunidade, ambos selecionados com ganhos para IMACel.

Palavras-chave: espectroscopia do infravermelho próximo, incremento médio anual em celulose, melhoramento florestal, teste clonal

ABSTRACT

The *Eucalyptus dunnii* Maiden is an outstanding species for growth and wood properties traits. However, wood traits, which are important to pulp and paper sector, are disregarded for this species in tree breeding. Thus, the present study aimed to estimate the genetic parameters of growth and wood properties traits, as well as to establish selection criteria with the creation of the MAICel phenotype index aiming to increase cellulose production in clones of *E. dunnii* in different environments. The clonal test of *E. dunnii* was established in a randomized complete block design with a single-tree-plot, 20 replicates and three environments. Growth values were obtained from 3.5-year-old trees. Wood properties values were measured by near-infrared spectroscopy. The phenotype index MAICel was created using the values of MAIvol, basic wood density, and pulp yield. A mixed linear model via REML/BLUP was used to obtain the genetic parameters and the rank of genotypic values considering several environments. Results revealed genetic variance for wood traits in *E. dunnii*. Klason lignin presented high broad-sense heritability; basic wood density, pulp yield, MAICel, and MAIvol had moderate broad-sense heritability; and total extractives and diameter at breast height showed low broad-sense heritability. All traits presented selective accuracy above 0,70. Simple clones x environments interactions were observed for the tested environments. This study revealed an elite clone of *E. dunnii* distinct from the commercial control with gains for mean annual pulp increment. It was possible to identify clone 9 as elite and distinct the commercial and clone 63, classified with risk and opportunity, both selected with gains for MAICel.

Keywords: clonal test, mean annual pulp increment, near-infrared spectroscopy, tree breeding.

1. Introdução

Espécies de *Eucalyptus* e seus híbridos são amplamente plantadas em regiões tropicais, subtropicais e temperadas, em virtude ao seu rápido crescimento, curto tempo de rotação, ampla adaptabilidade ambiental e adequação para produção de celulose e papel (BALDIN et al., 2017; GOMES et al., 2015).

Uma espécie de *Eucalyptus* que se destaca com bom crescimento é o *E. dunnii* Maiden. É originário da Austrália, nas regiões de Coffs Harbor em New South Wales e ao sul de Queensland. Sua utilização comercial tem sido possível em regiões frias do Sul do Brasil sendo capaz de se recuperar de maneira satisfatória de geadas quando plantados em regiões mais altas do relevo (ASSIS e SANTOS, 2012).

O *E. dunnii* possui um crescimento volumétrico favorável, apresenta um rendimento em celulose de 44,4 a 56,5%, densidade da madeira variando de 455 a 618 kg m⁻³, baixo teor de lignina e, conseqüentemente, baixo consumo específico e menor consumo de cloro no branqueamento (FONSECA et al., 2010; RAYMOND; et al., 2010; HARDNER et al., 2016).

O crescimento, a densidade básica e o rendimento de celulose são características importantes para ser inseridas em programas de melhoramento com foco na produção de celulose e papel (SILVA et al., 2009; HAMILTON et al., 2017). Essas características são importantes, pois, as indústrias concentram-se em resultados de toneladas de celulose produzida por hectare por ano, e esse valor, é obtido mediante do produto do incremento médio anual de volume da madeira, da densidade básica e do rendimento de celulose (RAYMOND et al., 2010; BRAWNER et al., 2012). O teor de lignina e o de extrativos também são características importantes da madeira, no qual, afetam significativamente o rendimento do processo de polpação (GOMIDE et al., 2010).

Assim, em um programa de melhoramento florestal é indicado determinar, inicialmente, essas características de característica da madeira (densidade básica, rendimento de celulose, teor de lignina e teor de extrativos), previamente aos estudos de polpação que apresentam custo bem mais elevado (GOMIDE et al., 2010). No entanto, estudos tecnológicos de qualidade de madeira são poucos explorados em programas de melhoramento florestal, em razão ao alto custo, tempo necessário para análise e à necessidade de corte das árvore (SANTOS et al., 2016).

Muitas vezes torna-se inviável medir os caracteres da madeira, em um grande número de indivíduos, para agregar essas características em um programa de melhoramento florestal. A possibilidade de uso de técnicas não destrutivas de caracterização da madeira pode vir a mudar essa realidade e fazer com que parâmetros da madeira possam ser mensuradas em uma quantidade maior de indivíduos (ANDRADE et al., 2010; GAO et al., 2017), com isso, pode-se ter métodos de caracterização rápidos, simples e com maior precisão experimental (VIANA et al., 2010; GAO et al., 2017).

Dentre os métodos não destrutivos, o uso da espectroscopia do infravermelho próximo (NIR) é caracterizada por ser uma técnica que possibilita analisar as características da madeira sem a necessidade de corte da árvore (TSUCHIKAWA e KOBORI, 2015; GEBRESELASSIE et al., 2017), sendo capaz de prever propriedades químicas (HEIN et al., 2016; SANDAK et al., 2016) e físicas (GALLEGUILLLOS-HART et al., 2010; HEIN et al., 2016) da madeira de um grande número de amostras com confiabilidade e menor custo em relação aos métodos de análises convencionais (GEBRESELASSIE et al., 2017).

Parâmetros genéticos, como herdabilidade e correlações genéticas entre os caracteres, são importantes para determinar os ganhos decorrentes na seleção (LI et al., 2017). A estimativa desses parâmetros para as características da madeira via espectroscopia NIR tem demonstrado grande aplicação na seleção de genótipos e tomada de decisão em programas de melhoramento florestal (HARDNER et al., 2016; MAKOUANZI et al., 2017). Modelos de espectroscopia NIR, podem discriminar uma maior variação genética e com isso obter maiores ganhos, sendo, portanto, um método confiável para seleção de genótipos superiores (SCHIMLECK et al., 2004).

As propriedades químicas e físicas da madeira apresentam controles genéticos elevados no geral e devem ser usadas na seleção de genótipos em programas de melhoramento para caracteres da madeira (MAKOUANZI et al., 2017), juntamente com caracteres de crescimento que apresentam controles genéticos mais baixos (NUNES et al., 2016).

Diante da importância de métodos não destrutivos para estudos de características da madeira e seu uso em programas de melhoramento, cria-se uma oportunidade na utilização da espectroscopia NIR para a predição dessas características e seleção de genótipos específicos para produção de celulose.

O presente trabalho buscou estimar a herdabilidade e as correlações genéticas dos caracteres de crescimento, densidade básica, rendimento de celulose, lignina Klason e extrativos totais, bem como estabelecer critérios de seleção com a criação do índice fenotípico IMACel visando o aumento da produção de celulose em clones de *Eucalyptus dunnii* em diferentes ambientes.

2. Material e métodos

2.1 Rede experimental e materiais genéticos utilizados

A rede experimental utilizada pertence à empresa CMPC Celulose Riograndense, localizada nos municípios de Lavras do Sul (Horto Rincão dos Soares – LS), Dom Feliciano (Horto Quitéria – DF), e São Jerônimo (Horto Ramos – SJ), localizados no estado do Rio Grande do Sul. Cada local apresenta um número diferente de tratamento, número de árvores, área útil e área total, apenas as testemunhas inseridas são equivalentes para todos os locais (Tabela 1).

Tabela 1. Número de clones de diferentes espécies e híbridos de *Eucalyptus*, utilizados na rede experimental em três ambientes (LS: Lavras do Sul – Horto Rincão dos Soares; DF: Dom Feliciano – Horto Quitéria; e SJ: São Jerônimo – Horto Ramos) para experimentação no estado do Rio Grande do Sul, em áreas da empresa CMPC Celulose Riograndense.

Espécie/híbrido	Número de clones			Fatores
	LS	DF	SJ	
<i>E. dunnii</i>	75	48	37	Tratamentos
<i>E. saligna</i>	1	1	1	Testemunha comercial
<i>E. benthamii</i>	1	1	1	Testemunha
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	1	1	1	Testemunha
<i>E. dunnii</i>	4	4	4	Testemunha

Os tratamentos foram identificados como clones de *Eucalyptus dunnii*, e as testemunhas separadas em testemunha comercial (um clone de *E. saligna* - 76), e apenas como testemunha, (um clone de *E. benthamii* - 77, um clone híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* - 79 e quatro clones de *E. dunnii* - 78, 80, 81 e 82).

O teste clonal foi instalado em um espaçamento e 3,50 x 2,14 metros, estabelecido em delineamento experimental em blocos ao acaso, com parcela de árvore única, com 20 repetições, em três ambientes com condições edafoclimáticas distintas (Tabela 2).

Tabela 2. Localização geográfica e condições edafoclimáticas dos três ambientes do estado do Rio Grande do Sul (LS: Lavras do Sul – Horto Rincão dos Soares; DF: Dom Feliciano – Horto Quitéria; e SJ: São Jerônimo – Horto Ramos) utilizados para experimentação.

Horto	LS	DF	SJ
Coordenadas geográficas	30° 57' 40.9536"S 54° 5' 58.0524"W	30° 30' 2.718"S 52° 4' 50.1204"W	30° 27' 18.8532"S 52° 7' 51.546"W
Altitude (m)	301	378	250
Tipo de solo	Argissolo Vermelho distrófico típico - textura média/argilosa	Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico - textura média/argilosa	Argissolo Vermelho distrófico abrupto - textura arenosa/argilosa
Fertilidade	média a baixa	média a alta	média a alta
Profundidade do solo (mm)	profundo	raso	médio
Relevo	plano suave ondulado	ondulado	ondulado
Temperatura média (°C)	18,0	16,0	16,6
Temperatura mínima absoluta (°C)	-1,8	-3,2	-3,2
Temperatura máxima absoluta (°C)	34,9	30,7	34,5
Risco de ocorrência de geadas	Alto	Médio	Médio
Pluviosidade (mm)	1.399	1.564	1.368

2.2 Avaliações de crescimento

Aos três anos e meio de idade, foi mensurado o diâmetro a altura do peito (DAP) e altura total (AT) das árvores dos experimentos. O DAP foi mensurado com o auxílio de uma fita diamétrica e a ALT foi obtida com o uso do relascópio. Para o cálculo do volume sem casca foi utilizado o modelo de Santos et al. (2015), sendo:

$$V_{sc} = 0,000048 \times DAP^{1,720483} \times AT^{1,180736} \times e^{(-3,00555) \times \left(\frac{tx}{DAP}\right)} \times \left[1 - \left(\frac{d}{DAP}\right)^{1+0,228531 \times d} \right] + \varepsilon$$

Onde: V_{sc} = volume sem casca (m³); DAP = diâmetro a 1,3 metros de altura em centímetros (cm); AT = altura total em metros (m); tx = considerado 1 para volume sem casca; d = diâmetro comercial superior considerado 6 cm; ε = erro experimental.

Após obtenção do V_{sc} foi calculado o volume de madeira por $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$, ou seja, o Incremento Médio Anual de volume (IMAvol), que foi dado por:

$$IMAvol = \frac{V_{sc} + 10.000}{esp \times ano}$$

Onde: $IMAvol$ = Incremento Médio Anual em volume em três anos e meio ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$); V_{sc} = volume sem casca (m^3); esp = espaçamento de plantio, considerado 3,50 x 2,14 metros; ano = ano de avaliação a contar com a data de plantio, considerado três anos e meio.

Os valores fenotípicos de DAP, AT, V_{sc} e IMAvol podem ser verificados na Tabela 1 dos Anexos, sendo apresentados de acordo com a média de cada clone e seu respectivo desvio padrão.

2.3 Avaliações das características da madeira

Aos três anos e meio de idade foram coletadas serragem por meio de um método não destrutivo para estimativa dos resultados com a utilização da espectroscopia do infravermelho próximo (NIR).

A retirada da serragem na árvore consistiu na demarcação com giz na altura de 1,30 m do solo para todas as árvores com CAP maior que 25 cm. Com auxílio de um removedor de casca com 2 cm de diâmetro, foram retiradas as cascas em dois locais da árvore, um no sentido Sul-Norte a 10 cm abaixo do 1,30 (1,20 m do solo), e outro no sentido Leste-Oeste a 10 cm acima do 1,30 (1,40 m do solo).

Após a retirada da casca foi realizado a coleta da serragem nos dois sentidos com o auxílio de uma furadeira e uma broca de 1 polegada e 30 cm de comprimento. A coleta da serragem nos dois sentidos foi homogeneizada e armazenada em sacos do tipo Kraft. As amostras foram colocadas em estufa, por um período de 48 horas a uma temperatura de 60°C.

Foram coletadas serragens de 10 blocos em cada local da rede experimental, levando em consideração o número total de genótipos inseridos e sua sobrevivência.

As amostras foram transportadas para o Laboratório de Papel de Celulose do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, aonde foram processadas no moinho do tipo ciclone e acondicionadas em sala com temperatura e umidade relativa constante ($\pm 25^\circ C$ e $\pm 50\%$).

Após processamento, foram coletados 2 espectros em refletância difusa para cada amostra entre 12000 e 4000 cm^{-1} , 100 varrimentos de leitura (scans) e com uma resolução de 8 cm^{-1} , usando espectrômetro de infravermelho próximo com Transformadas de Fourier (NIR-Modelo: MPA, BrukerOptik GmbH, Ettlingen, Germany).

Com a coleta dos espectros, foi realizada a estimativa das características da madeira, densidade básica (DB, Kg.m^{-3}), extrativos totais (EXTO, %), lignina Klason (LGK, %) e rendimento de celulose (RCEL, %).

Os modelos utilizados para a estimativa das características supracitadas foram obtidos da confecção de um modelo de *E. benthamii*, *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*, ajustados para a estimativa de caracteres da madeira pela empresa CMPC Celulose Riograndense. Os parâmetros estatísticos dos modelos podem ser verificados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros estatísticos dos modelos dos componentes extrativo total (EXTO, %), lignina Klason (LGK, %), densidade básica (DB, kg.m^{-3}) e rendimento de celulose (RCEL, %) em *Eucalyptus* spp. com uso da regressão de mínimos quadrados parciais e dos preditores ordenados (PLS-OPS) para espectros NIR.

Componentes	Pré-processamento*	<i>nvl</i>	<i>RMSECV</i>	<i>Rcv</i>	<i>RMSEP</i>	<i>Rp</i>	<i>RDP</i>
EXTO	1 e 2	9	0,40	0,77	0,27	0,94	1,37
LGK	1 e 2	6	0,68	0,87	0,61	0,95	1,86
DB	1, 2 e 3	6	13,59	0,86	12,50	0,94	1,76
RCEL	1 e 2	5	0,83	0,91	0,80	0,94	2,21

*1-Centrar na média; 2-1ª derivada; e 3- vetor de normalização.

nvl: número de variáveis latentes; *RMSECV*: erro quadrático médio da validação cruzada; *Rcv*: coeficiente de correlação da validação cruzada; *RMSEP*: erro quadrático médio da predição; *Rp*: coeficiente de correlação da predição; e *RDP*: relação de desempenho desvio.

Foi criado um índice (IMACel) com objetivo de obter um ordenamento que englobe o crescimento ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), com densidade básica (medida via espectroscopia NIR, dado em Kg.m^{-3}) e rendimento de celulose (medida via espectroscopia NIR, dado em %). Dessa forma, foi possível observar o incremento médio anual de celulose em 3,5 anos. O IMACel foi dado por:

$$IMACel = \frac{IMAvol \times DB \times RCEL}{1000}$$

Onde: IMACel = Incremento médio anual de celulose ($\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$); IMAvol = Incremento médio anual em volume ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$); DB = Densidade básica medida via espectroscopia NIR (Kg.m^{-3}); e RCEL = Rendimento de celulose medida via espectroscopia NIR (%). OBS: Todas as medidas foram tomadas em 3,5 anos de idade.

Os valores fenotípicos obtidos via espectroscopia NIR de DB, EXTO, LGK e RCEL, bem como o índice fenotípico IMACel, podem ser observados em Anexos na Tabela 1, sendo apresentados de acordo com a média de cada clone e seu respectivo desvio padrão.

2.4 Modelo estatístico

O modelo estatístico para análise dessa rede experimental em vários ambientes, considerando a tomada de uma observação por parcela, foi dado por:

$$y = Xb + Zg + Wge + e, \text{ em que:}$$

y , b , g , ge , e = vetores de dados, de efeitos fixos (médias de blocos através dos locais), de efeitos genotípicos (aleatório), de efeitos da interação genótipos x ambientes (aleatório) e de erros aleatórios, respectivamente.

X , Z e W = matrizes de incidência para b , g e ge , respectivamente.

Distribuições e estruturas de médias e variâncias:

$$E \begin{bmatrix} y \\ g \\ ge \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad Var \begin{bmatrix} g \\ ge \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I\sigma_g^2 & 0 & 0 \\ 0 & I\sigma_{ge}^2 & 0 \\ 0 & 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

Equações de modelo misto:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + I\lambda_1 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + I\lambda_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{g} \\ \hat{ge} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix}, \text{ em que:}$$

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_g^2} = \frac{1 - h_g^2 - c_{ge}^2}{h_g^2}; \quad \lambda_2 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_{ge}^2} = \frac{1 - h_g^2 - c_{ge}^2}{c_{ge}^2}$$

$$h_g^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 + \sigma_e^2} = \text{herdabilidade individual no sentido amplo de parcelas}$$

individuais no bloco;

$$c_{ge}^2 = \frac{\sigma_{ge}^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 + \sigma_e^2} = \text{coeficiente de determinação dos efeitos da interação}$$

genótipos x ambientes;

$$\sigma_g^2 = \text{variância genotípica;}$$

$$\sigma_{ge}^2 = \text{variância da interação genótipos x ambientes;}$$

$$\sigma_e^2 = \text{variância residual entre parcelas;}$$

$$r_{gloc} = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2} = \frac{h_g^2}{h_g^2 + c_{ge}^2} : \text{ correlação genotípica dos materiais genéticos através}$$

dos ambientes.

Estimadores de componentes de variância por REML via algoritmo EM:

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{[y'y - b' X'y - \hat{g}' Z'y - \hat{g}e' W'y]}{[N - r(x)]},$$

$$\hat{\sigma}_g^2 = \frac{[\hat{g}' \hat{g} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr } C^{22}]}{q},$$

$$\hat{\sigma}_{ge}^2 = \frac{[\hat{g}e' \hat{g}e + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr } C^{33}]}{s} \quad \text{em que:}$$

C^{22} e C^{33} advém de:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} \end{bmatrix}$$

C = matriz dos coeficientes das equações de modelo misto;

tr = operador traço matricial;

$r(x)$ = posto da matriz X ;

N, q, s = número total de dados, número de clones e número de combinações genótipos x ambientes, respectivamente.

Nesse modelo, os valores genotípicos preditos livres da interação, considerando todos os locais são dados por $\mu + g$, em que μ é a média de todos os locais.

Com os valores genéticos preditos, foi obtida a correlação genética entre as variáveis analisadas. O ordenamento dos valores genéticos foi estabelecido com seus intervalos de confiança mediante equação:

$$IC = VG \pm t[(1 - r_{\hat{g}g}^2)\sigma_g^2]^{1/2}$$

Onde: IC = Intervalo de confiança dos valores genotípicos; VG = valor genotípicos ($\mu + g$); t = valor da distribuição t de Student associado a determinado nível de confiança, usado 1,96, para 95% de confiança; $r_{\hat{g}g}^2$ = confiabilidade; e σ_g^2 = variância genotípica.

Todas as análises foram realizadas mediante software SELEGEN-REML/BLUP (RESENDE, 2016).

3. Resultados e discussão

Os parâmetros genéticos das características analisadas foram estimados e podem ser observados na Figura 1. As estimativas dos parâmetros genéticos, como herdabilidade dos caracteres e correlações genéticas entre eles, 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 (RESENDE, 2002). As magnitudes das herdabilidades individuais podem ser classificadas em baixa ($0,01 \leq h^2_a \leq 0,15$), média ou moderada ($0,15 < h^2_a < 0,50$) e alta ($h^2_a \geq 0,50$) (RESENDE, 2015).

A lignina Klason (LGK) apresentou um alto valor estimado de herdabilidade individual no sentido amplo ($h^2_g = 0,64$) (Figura 1A). Com isso, a LGK apresenta um elevado controle genético e possibilidade de obtenção de ganhos genéticos significativos com a seleção de indivíduos baseados em LGK, estimada mediante espectroscopia NIR.

A LGK estimada com uso da espectroscopia NIR possibilitou estimar herdabilidades no sentido restrito de moderada a altas, em progênies de meios irmãos de *E. globulus* (0,27) (STACKPOLE et al., 2011), em progênies de *E. urophylla* (0,76) (HEIN et al., 2012), e em progênies de *E. camaldulensis* (0,21) (VARGHESE et al., 2017) e herdabilidade no sentido amplo em clones de *E. urophylla* x *E. grandis* (0,80) (MAKOUANZI et al., 2017).

Com alto controle genético, o teor de lignina é uma característica fundamental em programas de melhoramento do eucalipto, especialmente para produção de celulose, papel e bioenergia (GION et al., 2000; HEIN et al., 2012). Vale ressaltar, que a lignina para produção de celulose é indesejável, já que, o processo de deslignificação da madeira consiste na separação dos componentes mediante polimerização química. Sendo assim, sua presença em teores elevados na madeira apresenta maior consumo de energia, reagentes e dificuldades no processo de polpação (HEIN et al., 2012; SANTOS et al., 2014; CARRILLO et al., 2017).

Valores classificados em herdabilidade individual no sentido amplo moderada foram observados para densidade básica (DB) ($h^2_g = 0,28$), rendimento de celulose (RCEL) ($h^2_g = 0,23$), incremento médio anual em celulose (IMACel) ($h^2_g = 0,16$) e incremento médio anual em volume (IMAvol) ($h^2_g = 0,15$) (Figura, 1A). Valores classificados em herdabilidade individual no sentido amplo baixa foram observados para altura total (AT) ($h^2_g = 0,06$), extrativos totais (EXTO) ($h^2_g = 0,11$) e diâmetro à altura do peito (DAP) ($h^2_g = 0,11$).

Valores de densidade básica (DB) estimados via espectroscopia NIR, possibilitou a estimativa de moderada herdabilidade em progênies de polinização aberta para *E. pellita* ($h^2_a = 0,20$) (HUNG et al., 2015). Com a obtenção da DB pelo método gravimétrico, Varghese et al. (2017), observaram moderada herdabilidade em progênies de polinização aberta para *E. camaldulensis* ($h^2_a = 0,20$).

Entre os indicadores das qualidade da madeira para processos industriais, a DB é uma característica de interesse, pois está diretamente relacionada ao tipo e qualidade do produto a ser obtido (CARRILLO et al., 2017). O uso de densidades mais altas requer cargas de álcali mais elevadas para possibilitar maior eficiência de difusão dos íons e obtenção do kappa e o uso de densidades mais baixas, resulta em um consumo específico mais elevado, apresentando desvantagem, quando a empresa possui alguma limitação no fornecimento de matéria-prima (GOMIDE et al., 2005).

A utilização da espectroscopia NIR vêm sendo muito utilizada para estimativa do RCEL, possibilitando encontrar valores que possibilitem estimar ganhos pela seleção desse caráter. Valores moderados de herdabilidade em RCEL estimados via espectroscopia NIR, foram observados em progênies de polinização aberta para *E. globulus* ($h^2_a = 0,40$ e $h^2_a = 0,27$) (STACKPOLE et al., 2010; STACKPOLE et al., 2011), *E. pellita* ($h^2_a = 0,34$) (HUNG et al., 2015) e *E. camaldulensis* ($h^2_a = 0,37$) (VARGHESE et al., 2017).

Na obtenção do rendimento de celulose (RCEL) com a utilização da química úmida, pode-se encontrar herdabilidade alta em progênies de polinização aberta de *E. nitens* ($h^2_a = 0,61$), e na obtenção do RCEL via espectroscopia NIR também foi possível estimar altas herdabilidade ($h^2_a = 0,56 - 0,73$) (SCHIMLECK et al., 2004). Esses autores relatam a eficiência do uso da espectroscopia NIR na estimativa das herdabilidades do RCEL, sendo indicado para uso em um grande número de indivíduos com possibilidade de ganhos para o melhoramento com base nas características da madeira.

O RCEL é um componente que deve ser inserido em estratégias de melhoramento e em modelos econômicos de fábricas de celulose (STACKPOLE et al., 2010). O RCEL predito via espectroscopia NIR é uma ferramenta ideal para o melhoramento, estando fortemente relacionado com o RCEL obtido pela química úmida (SCHIMLECK et al., 2004). Com isso, o RCEL estimado via espectroscopia NIR pode ser um método confiável na aplicação de estratégias para seleção de

genótipos superiores com base nos valores genotípicos visando à melhoria das características da madeira para o setor de celulose se papel.

As herdabilidades do teor de extrativos estimado pela espectroscopia NIR, variaram de alta para clones de *E. urophylla* x *E. grandis* ($h^2_g = 0,80$) (MAKOUANZI et al., 2017) a moderada para progênies de polinização aberta de *E. globulus* ($h^2_a = 0,27$) (STACKPOLE et al., 2011).

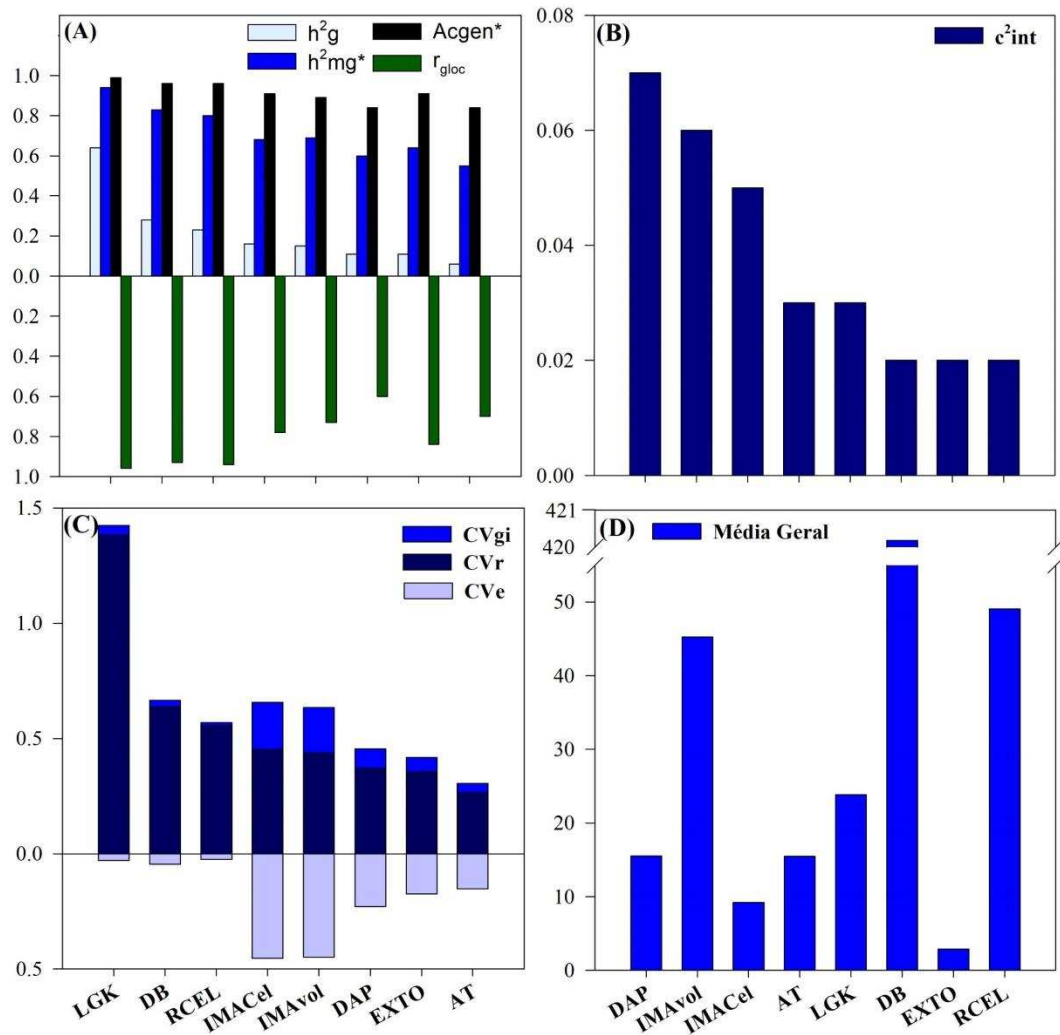


Figura 1. Estimativas de parâmetros genéticos (REML individual), para os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total (AT, m), incremento médio anual em volume aos 3,5 anos (IMAVol, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), densidade básica (DB, $Kg \cdot m^{-3}$), lignina Klason (LGK, %), extrativos totais (EXTO, %), rendimento de celulose (RCEL, %) e incremento médio anual de celulose aos 3,5 anos (IMACel, $ton \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) para clones de *Eucalyptus dunnii*, avaliados na análise conjunta entre os ambientes aos três anos e meio de idade. **(A)** h^2_g : herdabilidade individual no sentido amplo, livre da interação; $h^2_{mg^*}$: herdabilidade da média de clone corrigida de acordo com .FAM; $Acgen^*$: acurácia genética na seleção de clones corrigida de acordo com .FAM; r_{gloc} : correlação genotípica entre o desempenho nos ambientes; **(B)** c^2_{int} : coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x ambientes; **(C)** CVgi (%): Coeficiente de variação genotípica; CVe (%): Coeficiente de variação experimental; e CVr: Coeficiente de variação relativa. **(D)** Média geral.

A variável EXTO apresentou h^2_g baixa (0,11), que pode estar relacionada à grande variância residual entre parcelas (σ^2_e). Diferenças de extrativos na madeira podem ser explicadas de acordo com a localidade das árvores dentro do site, a disponibilidade de nutrientes, água e luz, bem como a variabilidade genética entre as espécies (SILVÉRIO et al., 2007). Em trabalho de Kilulya et al. (2014), o *E. dunnii* mostrou maiores quantidades de extrativos totais em comparação com *E. grandis*. Esses mesmos autores, observaram, que as variações nas quantidades e tipos de extrativos podem ser explicadas pelas diferenças na fisiologia das árvores e na composição do solo do local.

A presença elevada de extrativos pode ser muito problemática no processo de produção de celulose, pois, gera operações de limpeza de equipamentos e instrumentos em virtude à sua viscosidade e adesividade (GOMES et al., 2015). Além disso, pode ocorrer a deposição dessas substâncias na polpa, que são chamados de pitch, diminuindo o valor da celulose ou mesmo sua rejeição pelo mercado, bem como resultar em uso de grandes quantidades de produtos químicos e água durante o processo de polpação (KILULYA et al., 2012).

O valor de herdabilidade do caráter IMACel foi similar ao IMAvol, e mais baixo que DB e RCEL. O IMACel apresentou herdabilidade semelhante ao caráter de menor controle genético. Caracteres de herdabilidades moderadas, como o IMAvol são controlados por muitos genes. Isto indica que grande parte da variabilidade fenotípica dessas características é devida as variações ambientais (NUNES et al., 2016).

Todos os valores genéticos das características avaliadas nesse trabalho foram preditos com altas acurácias conforme Resende e Duarte (2007). Obteve-se valores variando de 0,74 a 0,97 (Figura 1A), classificados em alta precisão, as variáveis AT (0,74), DAP (0,77), EXTO (0,80), IMAvol (0,83) e IMACel (0,83) e muito alta precisão, os caracteres RCEL (0,90), DB (0,91) e LGK (0,97). Com isso, fica evidente que as herdabilidades estimadas nesse trabalho para crescimento e característica da madeira em *E. dunnii*, são adequadas, com possibilidade de ganhos genotípicos com a seleção.

A obtenção de valores de acurácia é importante, pois, ela refere-se à correlação entre o valor genotípico verdadeiro do material analisado com o valor estimado ou predito, como também, tem a propriedade de informar sobre o correto ordenamento

dos genótipos para fins de seleção com base na característica selecionada (RESENDE, 2002).

Em testes clonais, ou ensaios de avaliação do valor de cultivo e uso (VCU), um valor de acurácia em 90% ou acima é desejado (RESENDE e DUARTE, 2007) para seleção de genótipos com base em caracteres de crescimento e propriedades da madeira. Com base nesse valor, pode-se observar que o RCEL (0,90), a DB (0,91) e a LGK (0,97) são características favoráveis para a recomendação de clones e para o VCU.

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 genóticas. 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).

Para fins legais, de recomendação e registro de cultivares no Brasil, diversas culturas têm adotado o VCU (RESENDE e DUARTE, 2007), porém, essa prática não é utilizada para a cultura do *Eucalyptus*. A utilização do VCU para registro de cultivares em *Eucalyptus* deve ser utilizada, pois tem-se uma recomendação mais acurada do desempenho dos cultivares nos diferentes ambientes de seleção para plantio comercial, como visto nesse trabalho para algumas características da madeira.

A análise de variância combinada dos 82 clones mostrou que o efeito genotípico foi significativo (LRT, $p < 0,05$) para todas as características analisadas. O efeito da interação genótipos x ambientes foi significativo (LRT, $p < 0,05$) somente para DAP, ALT, IMAvol, LGK e IMACel.

A correlação genotípica entre o desempenho nos ambientes (r_{gloc}) foi alta, conforme Resende (2007), para todas as características da madeira, para os índices e para altura, com exceção a variável DAP ($r_{gloc} = 0,60$) (Figura 1A). Valores de r_{gloc} de 0,70 para AT, 0,73 para IMAvol, 0,78 para IMACel, 0,84 para EXT0, 0,93 para DB, 0,94 para RCEL e 0,96 para LGK, foram observados (Figura 1A).

Segundo Resende (2007), quando os efeitos da interação genótipos x ambientes forem significativos e a correlação genética através dos ambientes forem altas, constata-se que a interação, é de natureza simples, ou seja, devida à mudança de variabilidade genética de um ambiente para outro. As características com efeito da interação significativo (ALT, IMAvol, LGK e IMACel), apresentam interação de

natureza simples, não sendo problemática para o melhorista, podendo ser utilizada a seleção dos clones com base em todos locais mediante ordenamento de seus valores genotípicos ($u + g$).

Alta ou baixa r_{gloc} é devida à complexidade de cada característica em interagir com o ambiente. As propriedades químicas da madeira são menos complexas que as propriedades físicas (como a densidade), e as características de crescimento (GION et al., 2011).

O DAP apresentou um coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x ambientes (c^2_{int}) de 7,39% (Figura 1B). Esse coeficiente determina o quanto das variações fenotípicas ocorre em função da interação (NUNES et al., 2016). As medidas de IMAvol e IMACel, apresentaram 5,73 e 4,59% da variação fenotípica em função da interação, respectivamente. Valores altos deste parâmetro conduz uma baixa correlação genotípica através dos ambientes, como no caso, o DAP, com uma correlação (r_{gloc}) de 0,60.

O coeficiente de variação genotípico (CV_{gi} , %) e o coeficiente de variação experimental (CV_e , %) do IMACel foi superior em relação as demais características utilizadas na sua composição (IMAvol, DB e RCEL), (Figura 1C).

Outra variável que apresenta um alto CV_{gi} (%) e CV_e (%), é o IMAvol (Figura 1C). Apresenta também, maiores valores em relação às características utilizadas em sua composição (DAP e AT).

Correlações genéticas foram observadas para as características de crescimento, índice IMACel e IMAvol, e propriedades da madeira (Figura 2). Estudos de correlações genéticas são importantes, pois, além de inferir se os efeitos dos genes são pleiotrópicos, e se existe desequilíbrio de ligação. Em caso de ocorrer a seleção, pode-se verificar também, qual característica será positiva e qual negativa a essa seleção, bem como a intensidade sobre respostas indiretas de uma característica em outra (GION, et al., 2011; HUNG et al., 2015).

Correlações genéticas altas e positivas podem ser observadas entre as características de crescimento DAP e AT (0,87), e elas com o IMAvol (AT e IMAvol 0,83; DAP e IMAvol, 0,96). Correlações genéticas altas também foram observadas entre DAP e AT, variando de 0,86 a 0,93 em estudo com progênies de polinização aberta e clones de *E. camaldulensis* aos 3 anos de idade (VARGHESE et al., 2017).

Para os caracteres da madeira, observam-se correlações moderadas e positivas entre DB e RCEL (0,48), e negativas entre EXTO e DB (-0,45), EXTO e RCEL (-

0,61), DB e LGK (-0,54), e LGK e RCEL (-0,34). Correlações genéticas altas e positivas também pode ser verificado entre AT e IMACel (0,79), DAP e IMACel (0,90) e IMAvol e IMACel (0,95), e correlação genética moderada e negativa entre LGK e IMACel (-0,32).

Correlações negativas entre EXTO e DB, EXTO e RCEL, LGK e DB, LGK e RCEL, são ideais para seleção de genótipos para as características DB e RCEL, pois, selecionando-as, diminui-se o teor de EXTO e/ou LGK. A correlação entre elas (DB e RCEL) é positiva, ou seja, a seleção com base em uma, indiretamente ganha-se na outra, situação favorável para a seleção de genótipos para produção de celulose.

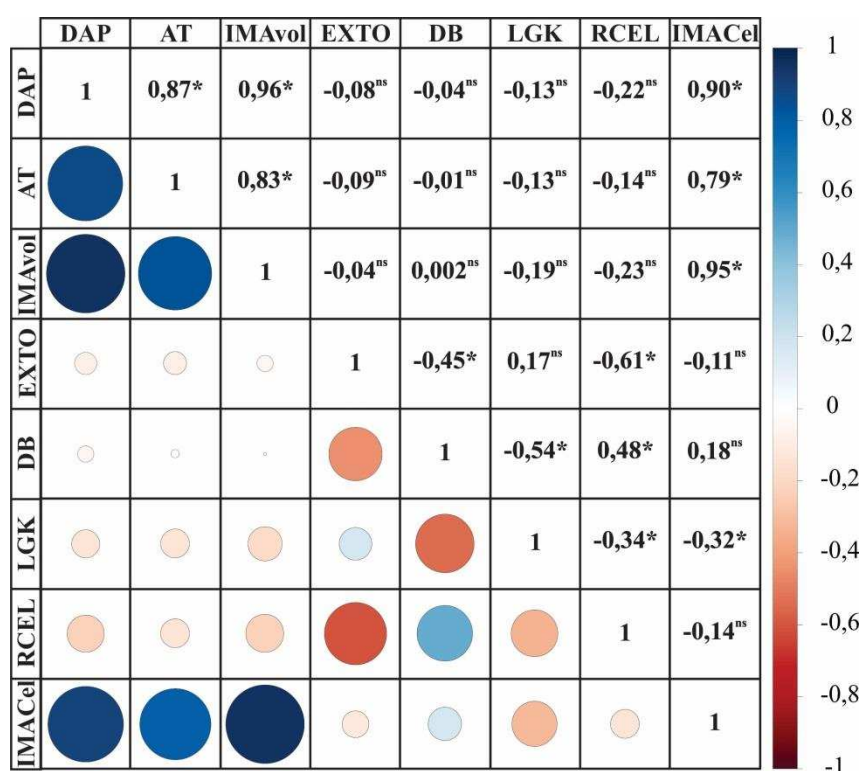


Figura 2. Correlações genótípicas entre os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total (AT, m), incremento médio anual em volume (IMAvol, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), extrativos totais (EXTO, %), densidade básica (DB, $Kg \cdot m^{-3}$), lignina Klason (LGK, %), rendimento de celulose (RCEL, %) e incremento médio anual de celulose (IMACel, $ton \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) para clones de *Eucalyptus dunnii*, avaliados na análise conjunta entre os ambientes aos três anos e meio de idade. Correlações significativas são indicadas em * ($p < 0,05$ nível de significância) e ^{ns} para correlações não significativas. OBS: A cor azul nos círculos representa correlações genótípicas positivas e a cor vermelha correlações negativas. O tamanho dos círculos e a intensidade das cores representam a magnitude de cada correlação.

Há correlação negativa entre características de crescimento (DAP, AT, IMAvol, IMACel) com LGK, pois elas competem pela alocação de carbono, seja para formação da celulose ou da lignina, já que essas duas moléculas são as principais consumidoras de carbono para a formação da parede celular da madeira (NOVAES *et*

al., 2010; STACKPOLE et al., 2011). Com isso, a correlação genética negativa entre lignina e características de crescimento é favorável para a seleção de genótipos para a produção de celulose (HEIN et al., 2012).

Correlações genéticas adversas entre as características da madeira e os caracteres de crescimento são uma das principais restrições nos programas de melhoramento florestal visando à produção de celulose e papel (HEIN et al., 2012), por isso compreendê-las se faz necessário para a tomada de decisão dentro de programas específicos.

O IMACel apresentou alta correlação genética com o IMAvol, e baixa para DB e RCEL. Diante disso, na comparação entre as herdabilidades dos caracteres que compõem o IMACel, a alta correlação entre IMACel e IMAvol, corroborou com herdabilidades similares, $h^2_g = 0,16$ e $h^2_g = 0,15$, respectivamente. Nessa situação, deve ser criado um índice equilibrado que não tenha as mesmas propriedades de apenas uma variável que lhe deu origem, e sim, de todas em conjunto (NUNES et al., 2016).

Foi realizado o ordenamento dos 20 melhores clones para a seleção conjunta entre os três ambientes para as características de crescimento, índices e características da madeira, com base no seu valor genotípico livre de interação ($u + g$) (Anexos – Tabelas 2 a 9 - e Figura 3).

No ordenamento via valor genotípico, é possível observar que não há diferença entre os 20 primeiros clones selecionados para as características DAP e AT, verificada com base no seu limite superior do intervalo de confiança (LSIC) (Figura 3A e 3B, respectivamente), com a testemunha comercial da empresa (76).

O IMAvol apresentou dois clones elites e distintos (9 e 11) com base no LSIC da testemunha comercial (Figura 3C). O ganho médio em IMAvol desses clones elites e distintos em relação ao clone 76 é de 40,20% (Anexo, Tabela 3). Para o ganho acumulado do IMAvol nos 20 clones elites selecionados com base na média do clone 76 tem-se um ganho de 24,67%.

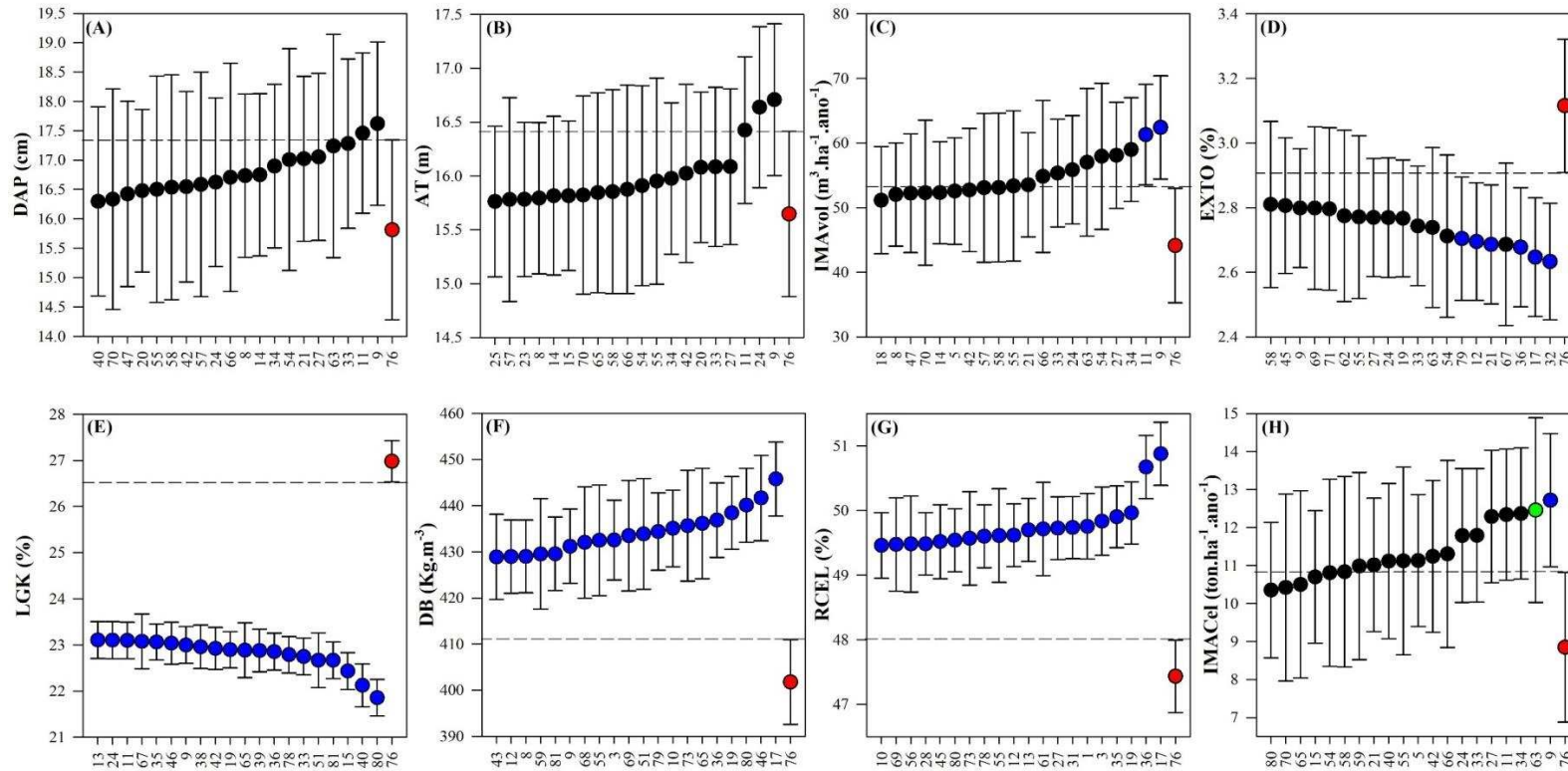


Figura 3. Valores genotípicos ($\mu + g$, ● – Clones elites, ● – Clones elites e distintos a testemunha comercial, ● – Clone elite com risco e oportunidade) e limites superior e inferior dos intervalos de confiança (LSIC, LIIC), com nível de significância de 5%, a partir das análises do ordenamento dos 20 melhores clones e a testemunha comercial (●, 76) das características: **(A)** Diâmetro à altura do peito (DAP, cm); **(B)** Altura total (AT, m); **(C)** Incremento médio anual em volume (IMAvol, m³·ha⁻¹·ano⁻¹), **(D)** Extrativos totais (EXTO, %); **(E)** Lignina Klason (LGK, %); **(F)** Densidade básica (DB, Kg·m⁻³), **(G)** Rendimento de celulose (RCEL, %); e **(H)** Incremento médio anual de celulose (IMACel, ton·ha⁻¹·ano⁻¹) para clones de *Eucalyptus dunnii*, avaliados na análise conjunta entre os ambientes aos três anos e meio de idade.

O alto ganho desses clones em relação a testemunha comercial da empresa (76, *E. saligna*), pode ser em razão da sua não adaptação a regiões que ocorrem geadas severas, por isso seu menor desenvolvimento para as características de crescimento. Segundo Assis e Santos (2012), o *E. saligna* é susceptível a geadas, e isso é um fator limitante da sobrevivência e crescimento dessa espécie. Espécies como *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* vêm se destacando em função da tolerância à geada nas regiões de clima frio do Brasil (ALVES et al., 2011; ASSIS e SANTOS, 2012).

Para o caráter EXTO podem ser observados cinco clones elites e distintos de *E. dunnii* (32, 17, 36, 21, 12) à testemunha comercial mediante seu limite inferior do intervalo de confiança (LIIC) (Figura 3D). A presença do EXTO na madeira para o processo de produção de celulose não é vantajoso. Busca-se selecionar genótipos com menores valores de EXTO para o maior rendimento de celulose, por isso, a seleção com base o LIIC da testemunha comercial foi realizada.

O ganho médio de EXTO dos cinco clones selecionados comparado a testemunha comercial apresentou 14,37% (Anexo, Tabela 5). Para o ganho acumulado em função do rank dos 20 clones elites tem-se 4,77% de ganho em relação à média do clone 76. O melhor clone (32) apresentou 15,48% menos EXTO em relação a testemunha comercial.

Para LGK, é possível observar que todos os 20 clones elites do ordenamento são distintos, apresentando menores valores comparados ao seu limite inferior do intervalo de confiança (LIIC) da testemunha comercial (Figura 3E), com destaque aos clones elites e distintos 40, 15, 81, 51 e 33. A média de ganho individual para os clones distintos selecionados em relação à média do clone 76 foi de 16,37% (Anexo, Tabela 6). O ganho acumulado dos 20 genótipos à média da testemunha comercial foi de 10,56%. O melhor clone (40) apresentou 18,00% menos LGK em relação a testemunha comercial.

Para a características DB os 20 clones de maiores valores genotípicos são clones elites e distintos a testemunha comercial de acordo com o seu limite superior do intervalo de confiança (LSIC) (Figura 3F), com ganho médio e acumulado de 8,09% em relação à média do 76 (Anexo, Tabela 7). Na seleção dos cinco clones elites e distintos e superiores a testemunha comercial, para DB têm-se os clones 17, 46, 19, 36 e 65 com 9,46% de ganho médio em relação à média da testemunha comercial. O melhor clone (17) apresentou 10,95% mais DB em relação a testemunha comercial.

O RCEL apresentou também 20 clones de maiores valores genotípicos classificados como clones elites e distintos a testemunha comercial de acordo com o seu LSIC (Figura 3G), com ganho médio e acumulado de 4,91% em relação à média do 76 (Anexo, Tabela 8). Na seleção dos cinco clones elites e distintos (17, 36, 19, 35, 3), têm-se 5,94% de ganho médio de RCEL em relação à média do 76. O melhor clone (17) apresentou 7,26% mais RCEL em relação a testemunha comercial.

O IMACel, uma característica importante para um programa de melhoramento de *Eucalyptus* para produção de celulose apresentou um clone elite e distinto com base no LSIC da testemunha comercial (76). O clone 9, foi o selecionado como elite e distinto para o IMACel (Figura 3H), apresenta um ganho individual de 43,75% em relação à média da testemunha (Anexo, Tabela 9). Há possibilidade de seleção do clone elite 63 com risco e oportunidade, pois seu intervalo de confiança pode fornecer plantios com maiores valores de IMACel se comparado com o clone elite distinto 9. Sugere-se que o clone 63 seja plantado com uma intensidade menor do que o clone 9 em razão ao risco, porém, se ele apresentar valores superiores, pode ser indicado em uma área maior, para um próximo ciclo de plantio.

O clone elite e distinto 9 selecionado para IMACel, também foi selecionado como clone elite e distinto para DB (15ª posição), para LGK (14ª posição) e IMAvol (1ª posição), e clone elite para EXTO (18ª posição), (Anexos, Tabela 2 a 9) evidenciando um grande potencial desse clone para a produção de celulose, com ganhos individuais importantes comparado a média da testemunha.

4. Conclusões

Existe variância genética para os caracteres da madeira para *E. dunnii* com possibilidade de ganhos genotípicos com a seleção.

Os caracteres da madeira em *E. dunnii* apresentaram valores moderados a altos de herdabilidade, com exceção do EXTO, com acurácias seletivas altas.

Interação do tipo simples para clones x ambientes foi observada para os três locais testado. Clones selecionados por IMAvol, LGK, EXTO e IMACel podem ser plantados com alta produtividade nos três ambientes.

Foi possível identificar clones elites e distintos com ganhos elevados nos caracteres IMAvol, LGK, DB, e IMACel, como o clone 9, se comparado com a testemunha comercial da empresa (76).

Com a criação do índice de IMACel foi possível encontrar um clone elite e distinto (9) e um clone elite com risco e oportunidade (63), que possibilitam ganhos elevados sobre a testemunha comercial (76). Plantios comerciais do clone 9 e em menor escala com o clone 63, selecionados com base no IMACel, são recomendados.

Há possibilidade de seleção visando o aumento da produção de celulose em clones de *Eucalyptus dunnii* com base em caracteres de crescimento e da madeira estimados por meio da espectroscopia NIR.

5. Referências

ALVES, I. C. N. *et al.* Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose kraft. *Ciencia Florestal*, v. 21, n. 1, p. 167–174, 2011.

ANDRADE, C. R. *et al.* Calibrações NIRS para três propriedades químicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. *Cerne*, v. 16, n. Suplemento, p. 9–14, 2010.

ASSIS, T. F.; SANTOS, G. A. Potencialidade de híbridos com *Eucalyptus benthamii*. In: SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A. (Org.). *Silvicultura e melhoramento genético de Eucalyptus benthamii*. [S.l.]: Imprensa Universitária: UFPR, 2012. p. 61–74.

BALDIN, T. *et al.* Anatomia da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de *Eucalyptus* L'Hér. *Brazilian Journal of wood science*, v. 8, n. 2, p. 114–126, 2017.

BRAWNER, J. *et al.* Selection of *Corymbia citriodora* for pulp productivity. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, v. 74, n. 2, p. 121–131, 2012.

CARRILLO, I. *et al.* Wood anatomical and chemical properties related to the pulpability of *Eucalyptus globulus*: a review. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, p. 1–8, 2017.

FONSECA, S. M. *et al.* *Manual Prático de Melhoramento Genético do Eucalipto*. Viçosa: UFV, 2010.

GALLEGUILLOS-HART, C.; FERNÁNDEZ, M. P.; ANDRÉS, G. A portable method to estimate wood basic density from increment cores using spectroscopic techniques. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, v. 18, n. 6, p. 465–472, 2010.

GAO, S. *et al.* A critical analysis of methods for rapid and nondestructive determination of wood density in standing trees. *Annals of Forest Science*, v. 74, n. 2, p. 27, 2017.

GEBRESELASSIE, M. N. *et al.* Near-infrared spectroscopy enables the genetic analysis of chemical properties in a large set of wood samples from *Populus nigra* (L.) natural populations. *Industrial Crops and Products*, v. 107, p. 159–171, 2017.

GION, J.-M. *et al.* Comprehensive genetic dissection of wood properties in a widely-grown tropical tree: *Eucalyptus*. *BMC Genomics*, v. 12, n. 1, p. 301, 2011.

GION, J. M. *et al.* Mapping candidate genes in *Eucalyptus* with emphasis on lignification genes. *Molecular Breeding*, v. 6, n. 5, p. 441–449, 2000.

GOMES, F. J. B. *et al.* Thorough characterization of brazilian new generation of eucalypt clones and grass for pulp production. *International Journal of Forestry Research*, v. 2015, p. 1–10, 2015.

GOMIDE, J. L. *et al.* Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. *Revista Árvore*, v. 29, n. 1, p. 129–137, 2005.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. *Revista Árvore*, v. 34, n. 2, p. 339–344, 2010.

HAMILTON, M. G. *et al.* Independent lines of evidence of a genetic relationship between acoustic wave velocity and kraft pulp yield in *Eucalyptus globulus*. *Annals of Forest Science*, v. 74, n. 1, p. 17, 2017.

HARDNER, C. M. *et al.* Improving prediction accuracy and selection of open-pollinated seed-lots in *Eucalyptus dunnii* Maiden using a multivariate mixed model approach. *Annals of Forest Science*, v. 73, n. 4, p. 1035–1046, 2016.

HEIN, P. R. G. *et al.* Age trends of microfibril angle inheritance and their genetic and environmental correlations with growth, density and chemical properties in *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake wood. *Annals of Forest Science*, v. 69, n. 6, p. 681–691, 2012.

HEIN, P. R. G. *et al.* Spatial variation of wood density, stiffness and microfibril angle along *Eucalyptus* trunks grown under contrasting growth conditions. *Trees*, v. 30, n. 3, p. 871–882, 2016.

HUNG, T. D. *et al.* Estimates of genetic parameters for growth and wood properties in *Eucalyptus pellita* F. Muell. to support tree breeding in Vietnam. *Annals of Forest Science*, v. 72, n. 2, p. 205–217, 2015.

KILULYA, K. F. *et al.* Controlling the release of wood extractives into water bodies by selecting suitable eucalyptus species. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 50–52, p. 217–223, 2012.

KILULYA, K. F. *et al.* Effect of site, species and tree size on the quantitative variation of lipophilic extractives in *Eucalyptus* woods used for pulping in South Africa. *Industrial Crops and Products*, v. 56, p. 166–174, 2014.

LI, C. *et al.* Genetic parameters for growth and wood mechanical properties in *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. *New Forests*, v. 48, n. 1, p. 33–49, 2017.

MAKOUANZI, G.; CHAIX, G.; NOURISSIER, S. Genetic variability of growth and wood chemical properties in a clonal population of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* in the Congo. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, p. 1–8, 2017.

NOVAES, E. *et al.* Lignin and Biomass: a negative correlation for wood formation and lignin content in trees. *Plant Physiology*, v. 154, n. 2, p. 555–561, 2010.

NUNES, A. C. P. *et al.* Estabelecimento de zonas de melhoramento para clones de eucalipto no Rio Grande do Sul. *Scientia Forestalis*, v. 44, n. 111, p. 563–574, 2016.

RAYMOND, C. A.; THOMAS, D. S.; HENSON, M. Predicting pulp yield and pulp productivity of *Eucalyptus dunnii* using acoustic techniques. *Australian Forestry*, v. 73, n. 2, p. 91–97, 2010.

RESENDE, M. D. V. DE; 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.

RESENDE, M. D. V. *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: Embrapa informações tecnológicas, 2002.

RESENDE, M. D. V. *Genética quantitativa e de populações*. Viçosa: Suprema, 2015.

RESENDE, M. D. V. *Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético*. Colombo: Embrapa Florestas, 2007.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: A useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 16, n. 4, p. 330–339, 2016.

SANDAK, J.; SANDAK, A.; MEDER, R. Assessing trees, wood and derived products with near infrared spectroscopy: Hints and tips. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, v. 24, n. 6, p. 485–505, 2016.

SANTOS, G. A. *et al.* Genetic control and genotype-by-environment interaction of wood weight in Eucalyptus clones in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Árvore*, v. 40, n. 5, p. 867–876, 2016.

SANTOS, G. A. *et al.* Interação genótipos x ambientes para produtividade de clones de *Eucalyptus* L'Hér. no estado do Rio Grande do Sul. *Revista Árvore*, v. 39, n. 1, p. 81–91, 2015.

SANTOS, P. S. B. *et al.* Composition and structure of organosolv lignins from four eucalypt species. *Wood Science and Technology*, v. 48, n. 4, p. 873–885, 2014.

SCHIMLECK, L. R.; KUBE, P. D.; RAYMOND, C. A. Genetic improvement of kraft pulp yield in *Eucalyptus nitens* using cellulose content determined by near infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 34, p. 2362–2370, 2004.

SILVA, J. C. *et al.* Genetic parameters for growth, wood density and pulp yield in *Eucalyptus globulus*. *Tree Genetics & Genomes*, v. 5, n. 2, p. 291–305, 2009.

SILVÉRIO, F. O. *et al.* Characterization of lipophilic wood extractives from clones of *Eucalyptus urograndis* cultivate in Brazil. *BioResources*, v. 2, n. 2, p. 157–168, 2007.

STACKPOLE, D. J. *et al.* Genetic control of kraft pulp yield in *Eucalyptus globulus*. *Canadian journal of Forest Research*, n. 40, p. 917–927, 2010.

STACKPOLE, D. J. *et al.* Genetic variation in the chemical components of *Eucalyptus globulus* wood. *Genes, Genomes, Genetics*, v. 1, n. 2, p. 151–159, 2011.

TSUCHIKAWA, S.; KOBORI, H. A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. *Journal of Wood Science*, v. 61, n. 3, p. 213–220, 2015.

VARGHESE, M. *et al.* Growth and wood properties of natural provenances, local seed sources and clones of *Eucalyptus camaldulensis* in southern India: implications for breeding and deployment. *New Forests*, v. 48, n. 1, p. 67–82, 2017.

VIANA, L. C. *et al.* Modelos de calibração e a espectroscopia no infravermelho próximo para predição das propriedades químicas e da densidade básica da madeira de *Eucalyptus*. *Ciencia Florestal*, v. 20, n. 2, p. 367–376, 2010.

CAPÍTULO 2

PARÂMETROS GENÉTICOS E SELEÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus dunnii* EM CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA VIA NIR COM DIFERENTES AMOSTRAS DE SERRAGEM

RESUMO

O uso da espectroscopia do infravermelho próximo (NIR) na predição das propriedades químicas e físicas da madeira em programas de melhoramento é vantajoso, desde que não gaste tempo com o processamento da serragem através de etapas de moagem. Com isso, esse trabalho buscou avaliar as diferenças na estimativa de parâmetros genéticos e seleção de clones de *Eucalyptus dunnii* por meio de caracteres da madeira gerados via espectroscopia NIR com uso de amostras de serragem moídas e amostras de serragem sem moer. O teste clonal de *E. dunnii* foi estabelecido em delineamento experimental em blocos ao acaso, com parcela de árvore única. Aos três anos e meio com uso da espectroscopia do infravermelho próximo, foram obtidos valores de características da madeira diante da serragem moída e da serragem sem moer. Foi utilizado um modelo linear misto via REML/BLUP para obtenção dos parâmetros genéticos e ordenamento dos valores genotípicos para cada tratamento das amostras de serragem. Utilizou-se o índice de rank médio para comparação entre a seleção dos clones para cada tratamento de amostras. Existe variância genética para os caracteres da madeira para *E. dunnii*. Correlações genotípicas altas foram observadas entre o ordenamento dos tipos de amostras (moídas e sem moer). Herdabilidade moderada e alta no sentido amplo foi observada para as características da madeira. Acurácia inferior foi observada diante das amostras sem moer para o caráter densidade básica e rendimento de celulose. Um número médio de 10 repetições é adequado para estimativa de altas acurácias. Foi possível obter maiores valores de correlação genotípica para os caracteres no geral, obtidos via amostras moídas. O índice de rank médio possibilitou a seleção de genótipos superiores com base em todas as características da madeira. A seleção com base em amostras sem moer pode ser realizada desde que, levadas em consideração a acurácia seletiva para avaliação com base em um único caractere. Foi possível selecionar 25 clones com uso do rank médio de amostras sem moer, com 95 % de coincidência com o rank médio

das amostras moídas. Os cinco primeiros clones selecionados com base em amostras sem moer foram 17, 36, 15, 81 e 46. O uso de amostras sem moer para leitura em espectroscopia NIR é mais vantajoso do ponto de vista operacional, pois reduz os custos e antecipa os resultados.

Palavras-chave: método não destrutivo, melhoramento florestal, moagem de amostras, ranqueamento de clones, teste clonal.

ABSTRACT

The use of near infrared spectroscopy (NIRS) in predicting the chemical and physical properties of wood in breeding programs is advantageous, if it does not spend time with sawing processing through milling steps. The objective of this study aimed to evaluate the differences in genetic parameters estimate and selection of *Eucalyptus dunnii* clones using wood traits generated through NIR spectroscopy using sawdust samples and samples without milling. The clonal test of *E. dunnii* was established in a randomized complete block design with a single tree plot. At three and a half years using near-infrared spectroscopy, wood traits values were obtained in front of ground sawdust and sawdust without milling. A linear mixed model was used via REML/BLUP to obtain the genetic parameters and ordering the genotypic values for each treatment of the sawdust samples. The mean rank index was used for comparison between the selection of the clones for each treatment of samples. There is genetic variance for wood traits for *E. dunnii*. High genotypic correlations were observed between sorting of the sample types (milled and without milled). Moderate and high heritability in the broad sense was observed for wood traits. Lower accuracy was observed in the samples without milling for the character of basic density and cellulose yield. An average number of 10 replicates is adequate for estimating high accuracy. It was possible to obtain higher values of genotype correlation for the characters in general, obtained through milling samples. The average classification index allowed the selection of superior genotypes based on all wood traits. Selection based on sawdust without milling may be performed provided that, considering the selective accuracy for evaluation based on a single trait. It was possible to select 25 clones using the average rank of samples without milling, with 95% coincidence with the average rank of the milling samples. The first five clones selected based on without milling samples were 17, 36, 15, 81 and 46. The use of without milled samples for NIR spectroscopy is more advantageous from an operational point of view, as it reduces costs and anticipates results.

Keywords: clonal test, clone ranking, non-destructive method, milling samples, tree breeding.

1. Introdução

A maioria dos programas de melhoramento florestal de *Eucalyptus* necessitam de informações de características da madeira. Muitas vezes essas informações são geradas de poucas árvores que não representam toda a variabilidade experimental, ou até mesmo são negligenciadas em fases iniciais de programas de melhoramento, pois, requerem grandes populações, a fim de selecionar eficientemente árvores potenciais (SANTOS et al., 2016; ESTOPA et al., 2017).

As medições das características da madeira em árvores geralmente são amostradas pelo método destrutivo ou não destrutivos (FERREIRA, 1972; RODRIGUES et al., 2008; ESTOPA et al., 2017). A amostragem destrutiva de árvores é demorada e, em virtude a restrições práticas, o número de árvores que podem ser amostradas é limitado, dificultando assim, os trabalhos de melhoramento (JONES et al., 2008; SANTOS et al., 2016).

A utilização do método não destrutivo, seria a retirada de pequenas amostras ou serragem das árvores em pé em um determinado local ou ao longo do perfil, afim de ter um composto representativo sem comprometer a sobrevivência do indivíduo (JONES et al., 2008; ESTOPA et al., 2017). Com isso, após processo de moagem ou não desses compostos, podem ser estabelecidas análises químicas e físicas, e assumir os resultados obtidos, como indicativos da árvore inteira (JONES et al., 2008).

Com os métodos não destrutivos de coleta têm-se a estimativa das características da madeira. O método mais utilizado é a espectroscopia de infravermelho próximo (NIR), sendo aplicado na medição de vários materiais orgânicos, como produtos agrícolas e madeireiros (TSUCHIKAWA e KOBORI, 2015). A aquisição dos resultados no espectro NIR é rápida, levando apenas alguns segundos, com isso, sua aplicação em um programa de melhoramento, que depende da avaliação de milhares de árvores, tem sido vantajosa (LI e ALTANER, 2018).

A madeira é um material ortotrópico e heterogêneo, que pode variar a reflexão da luz e alteração da absorção dos espectros NIR, podendo levar a uma variação significativa na estimativa dos componentes das características da madeira (JIANG et al., 2014). O tamanho de partícula da madeira, granulometria, rugosidade da superfície, bem como sua anatomia, são fatores que influenciam os espectros NIR e suas calibrações (SCHIMLECK et al., 2007; HEIN et al., 2010; BRAGA et al., 2011;

LI e ALTANER, 2018). Com isso, fatores referentes ao processamento das amostras de madeira devem ser estudados.

O mínimo preparo de amostra é vantajoso em programas de melhoramento, já que suas avaliações, requerem grandes quantidades de árvores (LI Ee ALTANER, 2018). Hein et al. (2010), investigaram a influência do processo de moagem, tamanho de partícula e qualidade da superfície da madeira sólida sobre o desempenho da regressão PLS para prever as propriedades químicas da madeira de *Eucalyptus urophylla* usando a espectroscopia NIR. Eles verificaram que, a influência do tipo da amostra (madeira sólida ou moída) foi mais expressiva do que da diferença de tamanho de partícula entre pó fino e grosso de madeira na predição de propriedades químicas.

Os valores associados às calibrações de madeira moída são geralmente superiores aos obtidos para madeira sólida. As vantagens de usar calibrações de madeira sólida podem compensar a diminuição na precisão em trabalhos que requer muitas amostras (POKE e RAYMOND, 2006). O aumento na facilidade, velocidade e a diminuição do custo associado à remoção da etapa de moagem de madeira, é uma grande vantagem para o uso da análise NIR para a predição química de madeira em programas de melhoramento (POKE E RAYMOND, 2006; LI e ALTANER, 2018).

O presente trabalho buscou avaliar as diferenças na estimativa de parâmetros genéticos e seleção de clones de *Eucalyptus dunnii* por meio de caracteres da madeira gerados via espectroscopia NIR com uso de amostras de serragem moídas e amostras de serragem sem moer.

2. Material e métodos

2.1 Rede experimental e materiais genéticos utilizados

O teste clonal utilizado no presente estudo pertence a empresa CMPC Celulose Riograndense, instalado do município de Lavras do Sul (Horto Rincão dos Soares – LS), localizado no estado do Rio Grande do Sul, constituído de 81 clones, sendo 79 clones de *Eucalyptus dunnii*, 1 clone de *E. saligna* e 1 clone de *E. benthamii*.

O teste clonal foi instalado em um espaçamento e 3,50 x 2,14 metros, estabelecido em delineamento experimental em blocos ao acaso, com parcela de árvore única, com 10 repetições.

2.2 Avaliações de características da madeira

Aos três anos e meio de idade foram coletadas serragem por meio de um método não destrutivo para estimativa dos resultados com a utilização da espectroscopia do infravermelho próximo (NIR).

A retirada da serragem na árvore consistiu na demarcação com giz na altura de 1,30 m do solo para todas as árvores com CAP maior que 25 cm. Com auxílio de um removedor de casca de 2 cm de diâmetro, foram retiradas as cascas em dois locais da árvore, um no sentido Sul-Norte a 10 cm abaixo do 1,30 (1,20 m do solo), e outro no sentido Leste-Oeste a 10 cm acima do 1,30 (1,40 m do solo).

Após a retirada da casca foi realizado a coleta da serragem nos dois sentidos com o auxílio de uma furadeira e uma broca de 1 polegada e 30 cm de comprimento. A coleta nos dois sentidos foi homogeneizada e armazenada em sacos do tipo Kraft. As amostras foram colocadas em estufa, por um período de 48 horas a uma temperatura de 60°C.

Foram coletadas serragens de 10 blocos do teste clonal, levando em consideração o número total de genótipos inseridos e sua sobrevivência.

As amostras foram transportadas para o Laboratório de Papel de Celulose do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, aonde foram divididas em dois tratamentos, um tratamento com a serragem (S) e outro com a serragem processada no moinho do tipo ciclone (M). Ambas as amostras de serragem (moídas-M e sem moer-S), foram acondicionadas em sala com temperatura e umidade relativa constante ($\pm 25^{\circ}\text{C}$ e $\pm 50\%$).

Após divisão dos tratamentos da serragem (moída-M e sem moer-S), foram coletados 2 espectros por amostra em refletância difusa entre 12000 e 4000 cm^{-1} , 100 varrimentos de leitura (scans) e com uma resolução de 8 cm^{-1} , usando espectrômetro de infravermelho próximo com Transformadas de Fourier (NIR-Modelo: MPA, BrukerOptik GmbH, Ettlingen, Germany).

Com a coleta dos espectros, foi realizado a estimativa das características da madeira, teor de cinzas (CINZ, %), extrativos em água (EXTA, %), extrativos totais (EXTO, %), lignina Klason (LGK, %), lignina total (LGT, %), densidade básica (DB, Kg.m^{-3}), holocelulose (HOLO, %) e rendimento de celulose (RCEL, %).

Os modelos utilizados para a estimativa das características supracitadas foram obtidos da confecção de um modelo de *E. benthamii*, *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*,

ajustados para a estimativa de caracteres da madeira pela empresa CMPC Celulose Riograndense. Os parâmetros estatísticos dos modelos podem ser verificados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros estatísticos dos modelos dos componentes teor de cinzas (CINZ, %), extrativos em água (EXTA, %), extrativo total (EXTO, %), lignina Klason (LGK, %), lignina total (LGT, %), densidade básica (DB, kg.m⁻³), holocelulose (HOLO, %) e rendimento de celulose (RCEL, %) em *Eucalyptus* spp. com uso da regressão de mínimos quadrados parciais e dos preditores ordenados (PLS-OPS) para espectros NIR.

Componentes	Pré-processamento*	nvl	RMSECV	Rcv	RMSEP	Rp	RDP
CINZ	1 e 2	7	0,08	0,68	0,06	0,83	1,11
EXTA	1 e 2	11	0,28	0,73	0,20	0,93	1,31
EXTO	1 e 2	9	0,40	0,77	0,27	0,94	1,37
LGK	1 e 2	6	0,68	0,87	0,61	0,95	1,86
LGT	1 e 2	5	0,68	0,87	0,57	0,94	1,82
DB	1, 2 e 3	6	13,59	0,86	12,50	0,94	1,76
HOLO	1 e 2	8	0,68	0,91	0,77	0,92	2,35
RCEL	1 e 2	5	0,83	0,91	0,80	0,94	2,21

*1-Centrar na média; 2-1ª derivada; e 3- vetor de normalização.

nvl: número de variáveis latentes; RMSECV: erro quadrático médio da validação cruzada; Rcv: coeficiente de correlação da validação cruzada; RMSEP: erro quadrático médio da predição; Rp: coeficiente de correlação da predição; e RDP: relação de desempenho desvio.

Os valores fenotípicos obtidos via espectroscopia NIR tanto para amostras de serragem moídas quanto para amostras sem moer de CINZ, EXTA, EXTO, LGK, LGT, DB, HOLO e RCEL, podem ser observados na Tabela 10 e 11 dos Anexos, sendo apresentados de acordo com a média de cada clone e seu respectivo desvio padrão.

2.3 Modelos estatísticos

2.3.1 Análise conjunta entre amostras de serragem moídas e não moídas

O modelo estatístico para análise do teste clonal entre as amostras de serragem moída e amostras de serragem sem moer, considerando a tomada de uma observação por parcela, foi dado por:

$$y = Xb + Zg + Wge + e, \text{ em que:}$$

y, b, g, ge, e = vetores de dados, de efeitos fixos (médias de blocos através dos tipos de amostras), de efeitos genotípicos (aleatório), de efeitos da interação genótipos x tipos de amostras (aleatório) e de erros aleatórios, respectivamente.

X, Z e W = matrizes de incidência para b, g e ge, respectivamente.

Distribuições e estruturas de médias e variâncias:

$$E \begin{bmatrix} y \\ g \\ ge \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad Var \begin{bmatrix} g \\ ge \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I\sigma_g^2 & 0 & 0 \\ 0 & I\sigma_{ge}^2 & 0 \\ 0 & 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

Equações de modelo misto:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + I\lambda_1 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + I\lambda_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{g} \\ \hat{ge} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix}, \text{ em que:}$$

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_g^2} = \frac{1 - h_g^2 - c_{ge}^2}{h_g^2}; \quad \lambda_2 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_{ge}^2} = \frac{1 - h_g^2 - c_{ge}^2}{c_{ge}^2}$$

$$h_g^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 + \sigma_e^2} = \text{herdabilidade individual no sentido amplo de parcelas}$$

individuais no bloco;

$$c_{ge}^2 = \frac{\sigma_{ge}^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 + \sigma_e^2} = \text{coeficiente de determinação dos efeitos da interação}$$

genótipos x tipos de amostras;

$$\sigma_g^2 = \text{variância genotípica;}$$

$$\sigma_{ge}^2 = \text{variância da interação genótipos x tipos de amostras;}$$

$$\sigma_e^2 = \text{variância residual entre parcelas;}$$

$$r_{gloc} = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2} = \frac{h_g^2}{h_g^2 + c_{ge}^2} : \text{correlação genotípica dos materiais genéticos através}$$

dos tipos de amostras.

Estimadores de componentes de variância por REML via algoritmo EM:

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{[y'y - \hat{b}' X'y - \hat{g}' Z'y - \hat{ge}' W'y]}{[N - r(x)]},$$

$$\hat{\sigma}_g^2 = \frac{[\hat{g}' \hat{g} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr } C^{22}]}{q},$$

$$\hat{\sigma}_{ge}^2 = \frac{[\hat{ge}' \hat{ge} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr } C^{33}]}{s} \text{ em que:}$$

C^{22} e C^{33} advém de:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} \end{bmatrix}$$

C = matriz dos coeficientes das equações de modelo misto;

tr = operador traço matricial;

$r(x)$ = posto da matriz X ;

N, q, s = número total de dados, número de clones e número de combinações genótipos x tipos de amostras, respectivamente.

Nesse modelo, os valores genotípicos preditos livres da interação, considerando todos os locais são dados por $\mu + g$, em que μ é a média de todos os locais (tipos de amostras).

Todas as análises foram realizadas mediante software SELEGEN-REML/BLUP (RESENDE, 2016).

2.3.2 *Análise individual para amostras de serragem moídas e para amostras sem moer*

O modelo estatístico para análise do teste clonal para amostras de serragem moídas e para amostras sem moer, considerando a tomada de uma observação por parcela, foi dado por:

$$y = Xr + Zg + e$$

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) em que, $g \sim N(0, G)$, sendo $G = I\sigma_g^2$, e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios) sendo que $e \sim N(0, R)$ e $R = I\sigma_e^2$. X e Z são matrizes de incidência que relacionam, respectivamente, os efeitos de r e g ao vetor y .

Distribuições e estruturas de médias e variâncias:

$$E \begin{bmatrix} y \\ g \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xr \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad Var \begin{bmatrix} g \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I\sigma_g^2 & 0 \\ 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

Equações de modelo misto:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + \lambda_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \end{bmatrix}, \text{ em que:}$$

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_g^2} = \frac{1 - h_g^2}{h_g^2};$$

$$h_g^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_e^2} = \text{herdabilidade individual no sentido amplo de parcelas}$$

individuais;

$$\sigma_g^2 = \text{variância genotípica};$$

$$\sigma_e^2 = \text{variância residual entre parcelas};$$

Estimadores de componentes de variância por REML via algoritmo EM:

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{[y'y - r'X'y - g'Z'y]}{[N - r(x)]};$$

$$\hat{\sigma}_g^2 = \frac{[\hat{g}'\hat{g} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr } C^{22}]}{q}, \text{ em que:}$$

C^{22} advém de:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} \\ C^{21} & C^{22} \end{bmatrix}.$$

C = matriz dos coeficientes das equações de modelo misto;

tr = operador traço matricial;

$r(x)$ = posto da matriz X ;

N, q = número total de dados e número de genótipos, respectivamente.

Na metodologia de modelos mistos, o teste recomendado para os efeitos aleatórios é o teste da razão de verossimilhança (LRT), mediante a uma análise de deviance. Portanto, realizou-se análise de deviance (ANADEV) (RESENDE, 2007). As deviances foram obtidas, rodando-se o modelo com e sem os valores de h^2 para cada variável e, em seguida, subtraindo-os e confrontando-os com o valor do Qui-quadrado com um grau de liberdade a 5% de probabilidade.

Nesse modelo, os valores genotípicos preditos, são dados por $\mu + g$. Com os valores genéticos preditos, foi obtida a correlação genética entre as variáveis analisadas, e foi realizado o índice de rank médio (RESENDE, 2007), adaptado de Mulamba e Mock (1978) com todos os caracteres da madeira estudados.

Todas as análises foram realizadas mediante software SELEGEN-REML/BLUP (RESENDE, 2016).

3. Resultados e discussão

3.1 Análise conjunta entre amostras moídas e não moídas

Os parâmetros genéticos das características da madeira para a análise conjunta (amostras moídas e sem moer) foram estimados e podem ser observados na Figura 1. 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).

Herdabilidades individuais (h^2_g) no sentido amplo de moderadas a altas foram encontradas (Figura 1A), de acordo com classificação de Resende (2015). Extrativos em água (EXTA), extrativos totais (EXTO), densidade básica (DB), teores de cinzas

(CINZ) e rendimento de celulose (RCEL), apresentaram herdabilidades individuais de 0,23, 0,23, 0,24, 0,35 e 0,37, respectivamente. Teores de holocelulose (HOL), lignina total (LGT) e lignina Klason (LGK), apresentaram valores de h^2_g de 0,52, 0,60 e 0,62, respectivamente.

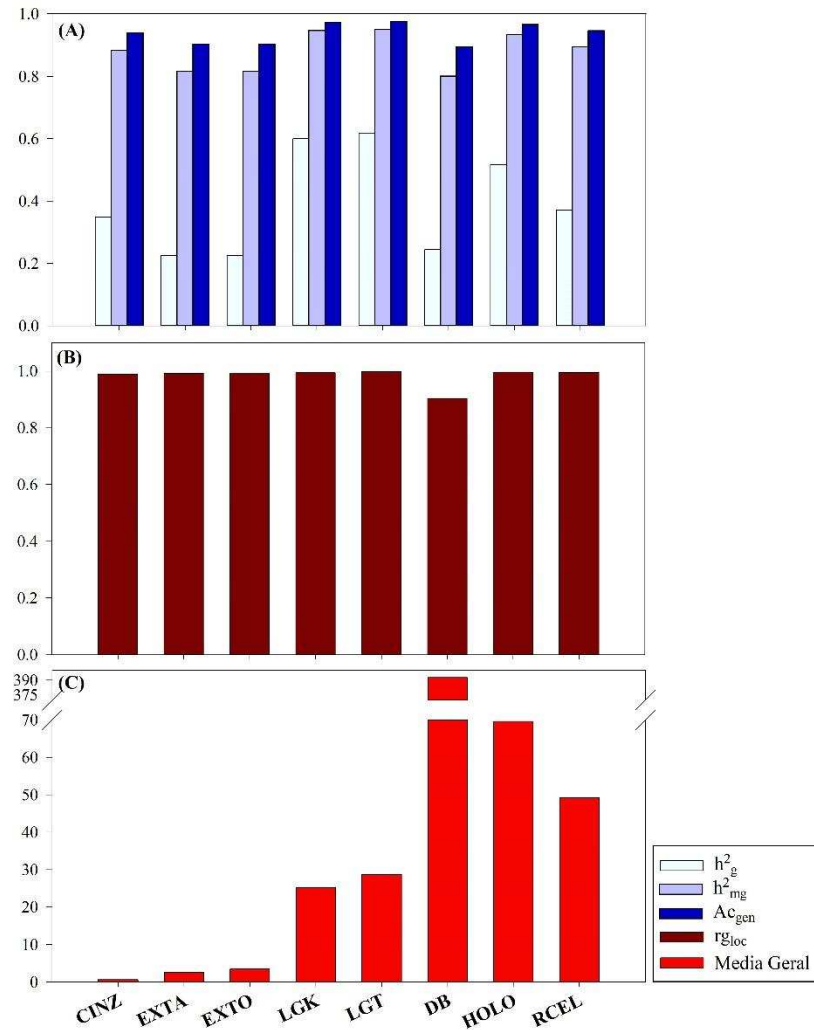


Figura 1. Estimativas de parâmetros genéticos (REML), para os caracteres teor de cinzas (CINZ, %), extrativo em água (EXTA, %), extrativo total (EXTO, %), lignina Klason (LGK, %), lignina total (LGT, %), densidade básica (DB, Kg.m^{-3}), holocelulose (HOLO, %) e rendimento de celulose (RCEL, %) para clones de *Eucalyptus dunnii*, avaliados na análise conjunta entre as amostras moídas e não moídas aos três anos e meio de idade. (A) h^2_g : herdabilidade individual no sentido amplo, livre da interação; h^2_{mg} : herdabilidade da média de clone corrigida de acordo com .FAM; Ac_{gen} : acurácia genética na seleção de clones corrigida de acordo com .FAM; (B) r_{gloc} : correlação genotípica entre o desempenho dos tipos de amostras; c^2_{int} : coeficiente de determinação dos efeitos da interação amostra moída x amostra sem moer; e (C) Média geral.

Magnitudes altas para todos caracteres da madeira acima de 0,80 (Figura 1A) foram encontradas para herdabilidade no sentido amplo para médias de genótipos (h^2_{mg}).

Acurácias genotípicas (Ac_{gen}) também foram muito altas, acima de 0,90 (Figura 1A). De acordo com Resende e Duarte (2007), valores de acurácia entre 0,70 e 0,90 são classificados como de alta precisão e valores acima de 0,90 de muito alta precisão. Com isso, tem-se alta precisão para o processo de seleção de genótipos por meio de seus valores genotípicos com o uso de ambos os processamentos das amostras (moída e não moída).

Correlações genotípicas altas (rg_{loc}), acima de 67%, conforme estabelecido por Resende (2007), entre o ordenamento dos tipos de amostras foram observadas (Figura 1B), variando de 0,904 para DB até 0,998 para LGT.

Médias gerais da população avaliada, podem ser observadas para as características (Figura 1C), com valores de 0,64 % para teores de cinzas (CINZ); 2,53 % para teores de extrativos em água (EXTA); 3,45 para teor de extrativo total (EXTO); 25,21 % para lignina Klason (LGK); 28,67 % para lignina total (LGT), 392,41 Kg.m⁻³ para densidade básica (DB); 69,59 % para holocelulose (HOLO) e 49,24 % de rendimento de celulose (RCEL).

3.2 Análise individual para amostras de serragem moídas e para amostras sem moer

Os parâmetros genéticos das características da madeira da análise individual de amostras moídas e da análise individual de amostras sem moer foram estimados e podem ser observados na Figura 2.

Herdabilidades individuais (h^2_g) no sentido amplo moderada foram observadas para extrativos em água e extrativos totais para amostras moídas (EXTA-M, EXTO-M) e sem moer (EXTA-S, EXTO-S) (Figura 2A). As amostras sem moer, possibilitaram uma maior estimativa de herdabilidade, com valores de 0,22 para o EXTA-S e 0,23 para o EXTO-S. Por outro lado, amostras moídas apresentaram valores de herdabilidade inferiores, sendo, 0,16 para EXTA-M e 0,17 para EXTO-M.

Maiores acurácias seletivas foi possível obter para as amostras sem moer de EXTA-S e EXTO-S (Figura 2A), com valores considerados altos segundo Resende e Duarte (2007), sendo 0,83 e 0,84, respectivamente.

As amostras sem moer, perante a espectroscopia do infravermelho próximo (NIR) para estimativa do EXTA e do EXTO possibilitaram captar uma maior variação da fração genotípica passível de ser explorada com a seleção. Coeficientes de variação genotípico ($CV_{gi}\%$) para esses caracteres foram maiores em relação as amostras sem moer se comparadas com as moídas (Figura 2B). Para EXTO-S obteve um CV_{gi} de 7,97 %, enquanto para EXTO-M, um CV_{gi} de 4,98 %. Já EXTA-S obteve um CV_{gi} de 7,51 %, enquanto para EXTO-M, um CV_{gi} de 6,43 %.

Valores altos de $CV_e\%$ puderem ser observados para os teores de extrativos. Tal fato pode ser explicado em razão da heterogeneidade desse composto e a influência com fatores ambientais, como solo, disponibilidade de nutrientes, água e luz, bem como a variabilidade genética entre as espécies (SILVÉRIO et al., 2007). O *E. dunnii* em trabalho de Kilulya et al. (2014), mostrou maiores quantidades de extrativos totais em comparação com *E. grandis*, ficando evidente, que as variações nas quantidades e tipos de extrativos podem ser explicadas pelas diferenças na fisiologia das árvores e na composição do solo do local.

Valores de 0,54 para EXTA-S e 0,54 para EXTO-S para o coeficiente relativo (CV_r), foi observado (Figura 2B). Segundo Resende e Duarte (2007), para a obtenção de maiores acurácias (acima de 0,90) com o CV_r observados nesse caso, deve-se elevar o número de repetições, em torno de 20. Já para as amostras moídas para EXTA-M e EXTO-M, levando em consideração o CV_r obtido (0,43 e 0,45, respectivamente), será necessário repetições em torno de 30, para valores de acurácias acima de 0,90.

Com isso, para a seleção com base em teores de EXTA e EXTO, não é necessário moer as amostras. Sendo assim, a avaliação de amostras sem processamento para esses caracteres, tem a vantagem de uma preparação mínima da amostra, permitindo aumentar a amostragem de árvores (LI e ALTANER, 2018). Mediante a isso, é possível acelerar a entrega de resultados para tomada de decisão do melhorista, bem como a redução de custos como verificado nesse trabalho (Tabela 4).

Segundo Poke e Raymond (2006), calibrações desenvolvidas usando espectros NIR de madeira sólida, podem ser usadas com segurança para prever os teores de extrativos, lignina e celulose com considerável precisão. Esses autores verificaram que a boa calibração para o conteúdo de extrativos é particularmente surpreendente, pois é uma característica composta por uma gama de compostos não-estruturais que são solúveis em solventes orgânicos e água.

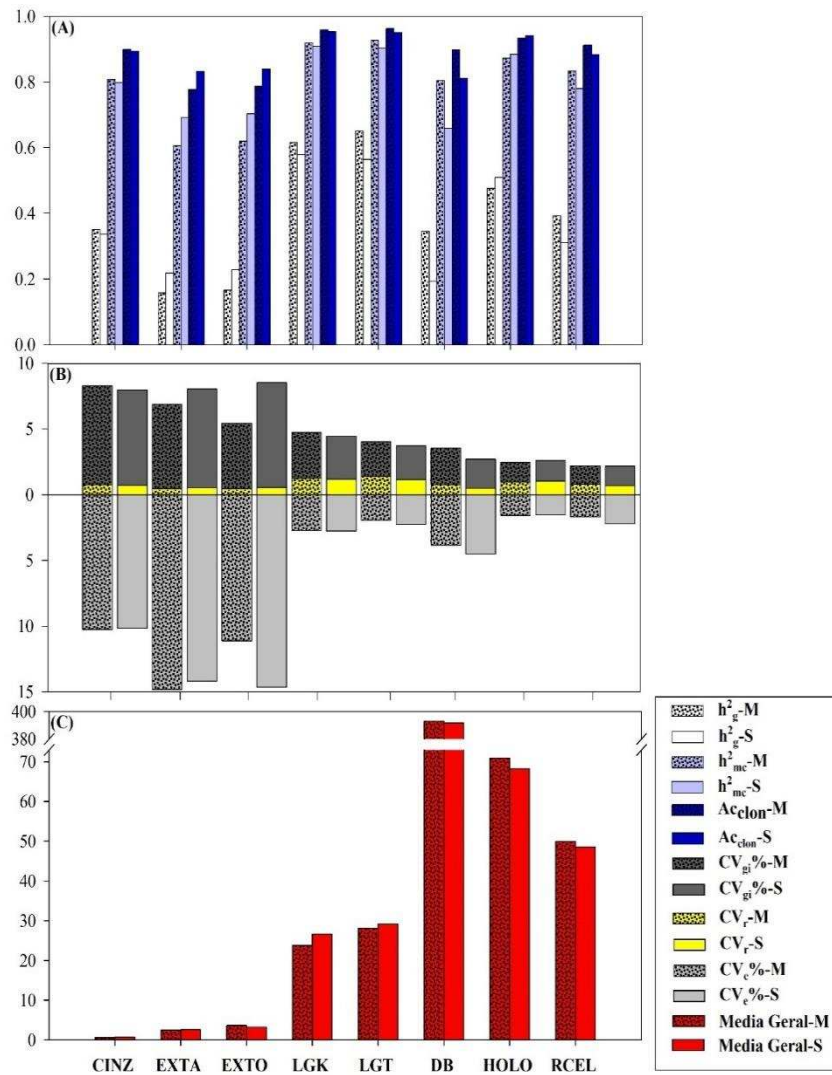


Figura 2. Estimativas de parâmetros genéticos (REML), para os caracteres teor de cinzas (CINZ, %), extrativo em água (EXTA, %), extrativo total (EXTO, %), lignina Klason (LGK, %), lignina total (LGT, %), densidade básica (DB, Kg.m⁻³), holocelulose (HOL, %) e rendimento de celulose (RCEL, %) para clones de *Eucalyptus dunnii*, avaliados na análise individual para as amostras moídas (M) e para as amostras não moídas (S) aos três anos e meio de idade. (A) h²_g-M: herdabilidade individual no sentido amplo, livre da interação para amostras moídas; h²_g-S: herdabilidade individual no sentido amplo, livre da interação para amostras sem moer; h²_{mc}-M: herdabilidade da média de clone corrigida de acordo com .FAM para amostras moídas; h²_{mc}-S: herdabilidade da média de clone corrigida de acordo com .FAM para amostras sem moer; Ac_{clon}-M: acurácia genética na seleção de clones corrigida de acordo com .FAM para amostras moídas; e Ac_{clon}-S: acurácia genética na seleção de clones corrigida de acordo com .FAM para amostras sem moer; (B) CV_{gi}%-M: coeficiente de variação genotípica para amostras moídas; CV_{gi}%-S: coeficiente de variação genotípica para amostras sem moer; CV_e%-M: coeficiente de variação experimental para amostras moídas; CV_e%-S: coeficiente de variação experimental para amostras sem moer; CV_r-M: coeficiente de variação relativa para amostras moídas; CV_r-S: coeficiente de variação relativa para amostras sem moer. (C) Média geral-M: média geral de amostras moídas; e Média geral-S: média geral de amostras sem moer.

Valores de herdabilidade moderada também foram verificados em trabalho de Hung et al. (2015), para DB em progênies de polinização aberta de *E. pellita* e em trabalho de Hamilton et al. (2017), para RCEL em progênies de polinização aberta de

E. globulus, ambos caracteres, estimados via espectroscopia NIR. Com isso, o uso da espectroscopia NIR é indicado para uso em muitos indivíduos com possibilidade de ganhos para o melhoramento com base nas características da madeira (SCHIMLECK et al., 2004).

Entre os indicadores das características da madeira para processos industriais, a DB e o RCEL são propriedades de interesse, pois estão diretamente relacionados ao tipo e qualidade do produto a ser obtido e devem ser inseridos em estratégias de melhoramento para a indústria de celulose (STACKPOLE et al., 2010; CARRILLO et al., 2017). Com isso, acurácias seletivas muito altas foram identificadas em DB-M e RCEL-M, 0,90 e 0,91, respectivamente (Figura 2A). Valores como esses são indicados para seleção eficaz em testes clonais, podendo ser selecionados com precisão para seguir com o programa de melhoramento, na implantação de testes clonais ampliados, ou até mesmo para plantios comerciais em menor escala.

Levando em consideração o coeficiente relativo (CV_r), obteve-se valores de 0,73 para DB-M e 0,49 para DB-S (Figura 2B). Essa diferença, se dá pelo fato de que amostras moídas apresentaram um $CV_e\%$ menor do que as amostras sem moer, sendo 3,87 e 4,53, respectivamente. Foi possível observar também um maior $CV_{gi}\%$ (2,81) para as amostras moídas em relação as não moídas (2,21).

Essa diferença entre DB-M e DB-S, pode ser inferida sobre o processo de granulometria e disposição das amostras no processo de leitura dos espectros no NIR. Modelos de amostras moídas podem não ser tão bem aplicados em amostras sem moer, pois, os espectros NIR tomados nessas amostras incidem em vários ângulos envolvendo os polímeros da parede celular (Poke e Raymond, 2006). Sendo assim, o espectro será diferente entre os dois tipos de amostra resultando em diferentes estimativas para o caráter.

A densidade básica (DB) não é uma composição química, no entanto, pode ser estimada a partir da relação entre a densidade e os três principais componentes químicos da madeira (celulose, hemicelulose e lignina) com o auxílio de técnicas de quimiometria (TSUCHIKAWA e KOBORI, 2015).

Para o RCEL o coeficiente relativo (CV_r) para amostras moídas (RCEL-M), foi de 0,80, enquanto que para amostras não moídas (RCEL-S) foi de 0,67 (Figura 2B). Isso foi possível em virtude da diferença entre o $CV_{gi}\%$ e $CV_e\%$ entre as amostras. Valores mais altos de $CV_{gi}\%$ foram observados no RCEL-S (1,50), porém, maior

CV_e% (2,23). Sendo assim, o RCEL-M possibilitou um menor CV_e% (1,72), gerando maior CV_r.

A mudança de granulometria na estimativa da celulose pode estar associada com uma diminuição no seu grau de cristalinidade e de polimerização, conseqüentemente, haverá maiores valores de absorbância nos espectros (SCHWANNINGER et al., 2004). Portanto, a diminuição da granulometria, possibilitou um maior controle experimental (maior CV_r e acurácia).

Para um número de repetições em torno de 10, como reportado nesse trabalho, é necessário moer as amostras afim de se ter processos acurados de seleção para os caracteres de DB e RCEL estimados via espectroscopia NIR. Para aumentar a acurácia seletiva (acima de 0,90) para as amostras sem moer para DB e RCEL recomenda-se um uso maior de repetições, sendo acima de 20 de acordo com Resende e Duarte (2007).

A característica teor de cinzas (CINZ), apresentou também herdabilidade individual no sentido amplo moderada para ambos os processamentos de amostras (Figura 2A). Para cinzas oriundas de amostras moídas (CINZ-M) o valor de h²_g foi de 0,35 e para cinzas oriundas de amostras não moídas (CINZ-S) o valor de h²_g foi de 0,34. Foi possível obter h²_g semelhantes para os dois tipos de amostras para essa característica, ou seja, qualquer um dos tratamentos das amostras é viável para obtenção dos parâmetros genéticos e ordenamento dos valores genotípicos dos clones avaliados.

O teor de cinza, representa os minerais totais presentes na madeira em suas mais diferentes formas, sendo uma característica indesejável, pois pode ser um fator negativo em fábricas de celulose de ciclo de água muito fechado, com altas taxas de recirculações e baixos volumes de efluentes (FREDDO et al., 2009).

Por ser um caractere importante no processo de polpação, o teor de cinzas deve ser inserido em programas de melhoramento para esse fim. Neste trabalho, é possível selecionar o teor de cinzas (CINZ) com alta acurácia em ambos os tratamentos das amostras (Figura 2A), sendo CINZ-M (0,90) e CINZ-S (0,89).

O coeficiente de variação genotípica (CV_{gi}%) entre CINZ-M e CINZ-S foram semelhantes (Figura 2B) com valores de 7,55 e 7,25, respectivamente. A mesma situação foi possível observar para o coeficiente de variação experimental (CV_e%), 10,26 para CINZ-M e 10,17 para CINZ-S. Com isso foi possível obter valores semelhantes para CV_r, sendo 0,74 para CINZ-M e 0,71 para CINZ-S. A seleção com

base nesse caráter pode ser realizada mediante a qualquer tratamento da amostra, seja ela moída ou sem moer, sendo possível a seleção com alta acurácia a partir de 9 repetições segundo Resende e Duarte (2007).

Herdabilidades semelhantes entre amostras moídas e não moídas (Figura 2A), foi possível observar também para o caráter teor de holocelulose (HOLO). Herdabilidade individual no sentido amplo moderada foi observada para o teor de holocelulose de amostras moídas (HOLO-M), com valor de 0,48. Para teor de holocelulose de amostras sem moer (HOLO-S) foi possível obter uma herdabilidade individual no sentido amplo alta, com valor de 0,51.

A madeira é composta, sobretudo, por celulose e hemiceluloses que juntas formam a fração da madeira denominada holocelulose, a qual está envolta numa matriz de lignina (Andrade et al., 2010). Tanto a holocelulose quanto a lignina são constituídas exclusivamente de carbono, hidrogênio e oxigênio e por meio do processo de deslignificação, é possível obter a holocelulose (KLOCK *et al.*, 2005). Com isso, essa característica pode ser inserida em programas de melhoramento para fins de indústrias de celulose e papel.

Diante dos resultados dos coeficientes de variação genotípicos (CV_{gi}%) e experimentais (CV_e%) entre as amostras moídas e sem moer para estimar os teores holocelulose (HOLO-M e HOLO-S) foi possível obter valores semelhantes (Figura 2B), sendo CV_{gi}% de 1,51 para HOLO-M e 1,58 para HOLO-S, e CV_e% de 1,58 para HOLO-M e 1,55 para HOLO-S. Com isso, valores semelhantes de CV_r (0,95 para HOLO-M e 1,02 para HOLO-S). Neste caso, qualquer tipo de processamento das amostras pode ser realizado para a seleção de genótipos com base em teores de holocelulose e repetições acima de 5 já são suficientes para obtenção de altas acurácias segundo critério estabelecido em trabalho de Resende e Duarte (2007).

Herdabilidades no sentido amplo altas foram possíveis observar para os caracteres de lignina (lignina total – LGT e lignina Klason – LGK). Amostra moídas de LGK-M e LGT-M apresentaram maiores valores de h^2_g , sendo 0,62 e 0,65, respectivamente. Menores valores de h^2_g foram obtidos em amostras sem moer de LGK-S e LGT-S, sendo 0,58 e 0,56, respectivamente.

Herdabilidades altas para caracteres de lignina também foram verificados em trabalho de Hein et al. (2012), com progênies de polinização aberta de *E. urophylla* e em trabalho de Makouanzi et al. (2017), para clones de *E. urophylla* x *E. grandis*, ambos os teores de lignina foram estimados via espectroscopia NIR.

Diante da importância dos caracteres de lignina, é possível selecionar genótipos com altos valores de acurácias (Figura 2A). Valores de LGK e LGT obtidos mediante tanto da moagem das amostras, quanto da não moagem, possibilitou valores de acurácia de 0,96 e 0,95, respectivamente. Com isso, tem-se a possibilidade de seleção eficiente dos genótipos independente do tratamento das amostras para a leitura dos espectros no NIR.

Segundo trabalho de Poke e Raymond (2006), as estimativas de conteúdo de lignina Klason e teor de lignina total obtidas via espectroscopia NIR são boas, porém o teor de lignina Klason é mais confiável com uso de madeira sólida. Esses resultados sugerem que as calibrações desenvolvidas para madeira sólida podem ser usadas com segurança para prever a química da madeira e fornecerão uma alternativa rápida e econômica ao uso de calibrações com uso de madeira moída sendo vantajoso para programas de melhoramento.

Corroborando com os resultados, em trabalho de Hein et al. (2010), o tamanho das partículas da madeira não influenciou na melhora dos modelos para avaliar o conteúdo de lignina Klason em *E. urophylla* por espectroscopia NIR.

Foi possível verificar um maior coeficiente de variação genotípico ($CV_{gi}\%$) (Figura 2B) para LGK-M (3,46) do que para LGK-S (3,25), bem como o coeficiente de variação experimental ($CV_e\%$) semelhantes, sendo 2,73 para LGK-M e 2,78 para LGK-S. Diante disso, possibilitou-se CV_r com alto controle genético, ou seja, acima de 1 (RESENDE e DUARTE, 2007), sendo 1,27 e 1,17 para LGK-M e LGK-S, respectivamente.

Maior valor de $CV_{gi}\%$ (2,68) e menor de $CV_e\%$ (1,96), foram observados para LGT-M (Figura 2B). Para LGT-S verificou-se um menor valor de $CV_{gi}\%$ (2,58) e maior de $CV_e\%$ (2,26). Portanto, obteve-se maiores valores de CV_r para LGT-M (1,36) se comparado com LGT-S (1,14), também com valores acima de 1 (RESENDE e DUARTE, 2007), apresentando alto controle genético.

Segundo Resende e Duarte (2007), com os valores de CV_r obtidos para LGK e LGT, um número de repetições acima de 5 já é possível obter acurácias seletivas acima de 0,90, corroborando com os resultados de acurácias deste estudo.

Médias gerais da população avaliada, podem ser observadas para as características (Figura 2C), com valores de 0,51 % para CINZ-M e 0,71 % para CINZ-S; 2,47 % para EXTA-M e 2,59 % para EXTA-S; 3,66 % para EXTO-M e 3,24 para EXTO-S; 23,79 % para LGK-M e 26,63 LGK-S; 28,14 % para LGT-M e 29,19 para

LGT-S; 392,96 Kg.m⁻³ para DB-M e 391,65 Kg.m⁻³ para DB-S; 70,96 % para HOLO-M e 68,23 % para HOLO-S; e 49,93 % para RCEL-M e 48,55 % para RCEL-S.

Correlações genéticas foram observadas para as características da madeira (CINZ, EXTA, EXTO, LLGK, LGT, DB, HOLO e RCEL) tanto para amostras moídas (M) (Figura 3A) quanto para amostras sem moer (S) (Figura 3B). Estudos de correlações genéticas são importantes, pois, além de inferir se os efeitos dos genes são pleiotrópicos e se existe desequilíbrio de ligação, pode-se verificar também se ocorrer seleção, qual característica será positiva a essa seleção e qual negativa, bem como a intensidade sobre respostas indiretas de uma característica em outra (GION et al., 2011; HUNG et al., 2015).

Para os caracteres da madeira obtidos via amostras moídas foi possível obter maiores valores de correlação no geral (Figura 3A) se comparados com as correlações entre amostras sem moer (Figura 3B). Salvo algumas exceções pode-se obter maiores valores de correlações entre os caracteres de amostras sem moer, como as correlações de CINZ com LGK, LGT e HOLO, RCEL com EXTA e EXTO, e DB com HOLO. Sendo assim, para verificar maiores correlações genéticas tanto positivas quanto negativas entre os caracteres, as amostras moídas são mais indicadas.

A densidade básica (DB) foi o caráter que apresentou maior diferença entre as correlações com os tipos de amostras (Figura 3A e 3B). Amostras moídas para estimar a DB possibilitou maiores correlações genéticas entre todos os demais caracteres se comparadas com as correlações genéticas de DB oriundas de amostras sem moer.

Apesar das baixas correlações genéticas, houve também mudança de sentido das correlações comparando entre as amostras (moídas e sem moer) (Figura 3A e 3B). Em amostras moídas para estimar teores de cinzas (CINZ) e extrativos totais (EXTO), obteve-se correlação positiva, enquanto para amostras sem moer essa correlação foi negativa, essa mudança de sentido apresentou uma diferença de 0,25. Outro caso semelhante foi em correlações entre EXTO e DB, no qual, amostras moídas obteve-se uma correlação genética negativa e para sem moer correlação genética positiva, apresentando uma diferença no sentido de 0,40.

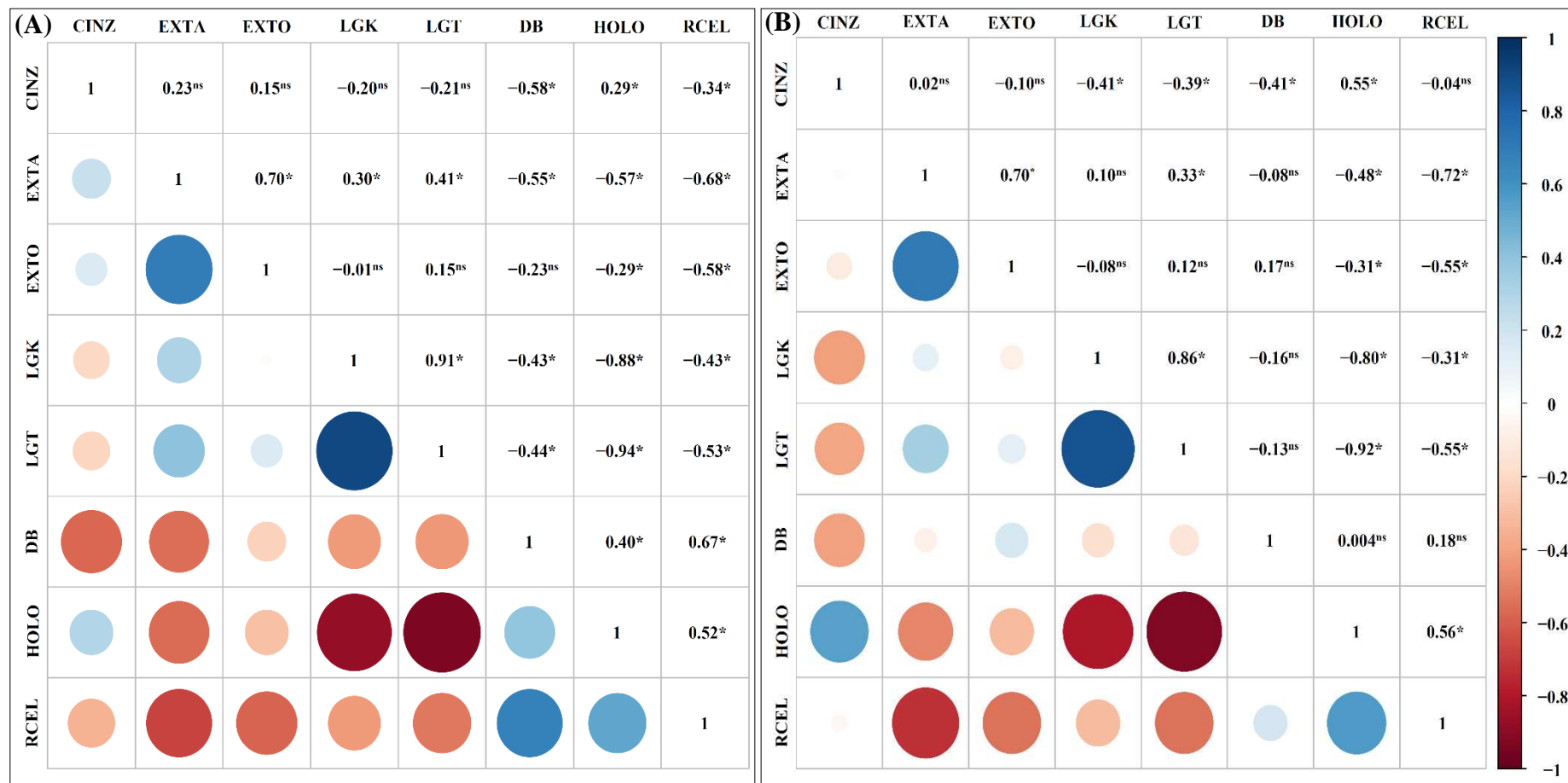


Figura 3. Correlações genótípicas entre os caracteres teores de cinzas (CINZ, %), extrativo em água (EXTA, %), extrativo total (EXTO, %), lignina Klason (LGK, %), lignina total (LGT, %), densidade básica (DB, Kg.m⁻³), holocelulose (HOL, %) e rendimento de celulose (RCEL, %) para clones de *Eucalyptus dunnii*, **(A)** com as amostras moídas (M) e **(B)** com as amostras sem moer. Correlações significativas são indicadas em * (p < 0,05 nível de significância) e ^{ns} para correlações não significativas. OBS: A cor azul nos círculos representa correlações genótípicas positivas e a cor vermelha correlações negativas. O tamanho dos círculos e a intensidade das cores representam a magnitude de cada correlação.

Diante das amostras moídas terem conseguido captar maiores magnitudes de correlações genéticas, os resultados a seguir de correlações genéticas serão atribuídos somente a esse tipo de processamento da amostra.

Correlações genéticas positivas e diferentes de zero foram possíveis observar entre EXTA com EXTO, LGK e LGT; LGT com LGK; DB com HOLO e RCEL; HOLO com RCEL e CINZ (Figura 3A). Já correlações genéticas negativas e diferentes de zero foram observadas entre DB com CINZ, EXTA, LGK, LGT; entre HOLO com EXTA, EXTO, LGK e LGT; e entre RCEL com CINZ, EXTA, EXTO, LGK e LGT (Figura 3A).

As correlações genéticas negativas supracitadas são ideais para seleção de genótipos para indústria de celulose e papel levando em consideração DB e RCEL, pois, selecionando-as, diminui-se o teor de CINZ, EXTA, EXTO, LGK e LGT. A correlação entre elas (DB e RCEL) é positiva, ou seja, a seleção com base em uma, indiretamente ganha-se na outra, situação favorável para a seleção de genótipos para produção de celulose.

A correlação genética negativa entre as ligninas (LGK e LGT) com o teor de HOLO e o RCEL, pode ser explicada pela competição dessas características pela alocação carbono, seja para formação da celulose ou da lignina, já que as essas duas moléculas são as principais consumidoras de carbono para a formação da parede celular da madeira (NOVAES et al., 2010; STACKPOLE et al., 2011). Com isso, a correlação genética negativa entre lignina e rendimento de celulose é favorável para a seleção de genótipos para a produção de celulose (HEIN et al., 2012).

O índice de rank médio (RESENDE, 2007), adaptado de Mulamba e Mock (1978), foi utilizado para comparação dos ordenamentos dos caracteres da madeira por meio dos dois tipos de amostragem (amostras moídas e amostras sem moer) (Tabela 2).

De acordo com a Tabela 2, pode ser observado que os clones 36 e 17 estão ordenados na 1ª e 2ª posição, alterando a ordem, com o tipo de amostras na qual foram obtidos os espectros NIR para estimativa dos caracteres da madeira.

Verifica-se também que 80 % dos clones ordenados nos 20 primeiros coincidem entre ambos os pré-tratamentos das amostras. Sendo assim, o uso do índice levando em consideração todas as amostras de características da madeira possibilitou uma alta coincidência entre o ordenamento das amostras, com isso, pode-se estabelecer

que as amostras sem moer podem ser utilizadas para obtenção do ordenamento e seleção de genótipos superiores.

Tabela 2. Ordenamento comparativo para os 20 primeiros clones comparando os dois métodos de amostragem (Clone-M, para amostras moídas; e Clone-S, para amostras sem moer) mediante das características da madeira (CINZ, EXTA, EXTO, LGK, LGT, DB, HOLO e RCEL) pelo índice de rank médio.

Posição	Clone-M	Clone-S
1	36	17
2	17	36
3	65	15
4	15	81
5	68	46
6	46	65
7	40	12
8	27	35
9	24	80
10	8	68
11	9	40
12	80	8
13	19	42
14	69	27
15	55	55
16	73	19
17	12	33
18	67	51
19	51	67
20	35	32

Na prática, considerando que o material selecionado em teste clonal segue para a fase de teste clonal ampliado e visando aumentar a coincidência entre os 2 ranks, poderia selecionar 20% mais clones que o recomendado (baseando-se nos 80% de coincidência). No caso desse trabalho seriam acrescidos mais 5 clones no rank de amostras sem moer (9, 54, 69, 62 e 24) e com isso a coincidência entre os ranks aumentaria para 95 %, diminuindo a possibilidade de deixar algum bom clone de fora da seleção.

Estabelecendo como seleção o ordenamento do índice de rank médio de amostras sem moer (Tabela 3), foi possível observar que dentre os cinco primeiros clones selecionados, três deles são os primeiros também, no ordenamento de RCEL.

O uso do índice de rank médio possibilitou a seleção de genótipos superiores para todas as características, no qual, a seleção somente com base em uma característica, por exemplo RCEL, não seria selecionado os clones 81 e 46. Porém esses clones selecionados, apresentam baixos valores de CINZ, EXTA, EXTO, LGK e LGT, sendo indicado para programas de melhoramento para celulose e papel.

Tabela 3. Ordenamento comparativo dos cinco primeiros clones para os caracteres da madeira (CINZ, EXTA, EXTO, LGK, LGT, DB, HOLO e RCEL) com uso das amostras sem moer (S) pelo índice de rank médio.

Posição	Clones-S	CINZ*	EXTA*	EXTO*	LGK*	LGT*	DB	HOLO	RCEL
1	17	74	78	74	70	79	1	9	1
2	36	66	81	80	60	69	32	4	2
3	15	29	47	59	78	80	9	1	3
4	81	65	75	37	75	64	2	18	25
5	46	69	66	50	56	68	14	20	30

*Ordenamento decrescente, pois o objetivo é a redução dos caracteres.

Mesmo com a diferença de herdabilidade e acurácia entre DB-M e DB-S, o uso do índice de rank médio pode identificar o genótipo 36, e sendo ordenado como segundo colocado (Tabela 3). No entanto se a seleção fosse baseada somente na DB-S esse genótipo não seria selecionado, pois o mesmo ocupa a posição 32 do rank. Com isso, têm-se a importância do uso de um índice que englobe várias características.

Existem diferenças significativas inter e intraespecíficas relacionadas as características da madeira que podem ser detectadas, como a composição química e as propriedades físicas, com isso, sua inclusão em programas de melhoramento se faz necessária, possibilitando a seleção de genótipos superiores, com possibilidade de ganhos genéticos (QUEIROZ et al., 2004; NUNES et al., 2016). Além disso, a não inclusão desses caracteres no programa de melhoramento leva a variáveis inesperadas nas características da madeira, que podem afetar o processo industrial e, conseqüentemente, a qualidade do produto final (GOMIDE et al., 2010).

O rank médio possibilitou o uso estimado via espectroscopia NIR de caracteres da madeira de amostras de serragem sem moer. Por meio disto, o melhorista pode ter um maior rendimento operacional e menor custo se comparado com amostras moídas (Tabela 4) tornando o processo mais eficiente com resultados em um menor tempo para seleção de genótipos e tomada de decisão.

Na tabela 4, observam-se os resultados de rendimento operacional e custos do processo de moagem de amostras para leitura dos espectros NIR. Com a utilização das amostras sem moer para leitura dos espectros NIR, considerando-se o número de 100.000 amostras colhidas/ano (potencial de uso na empresa CMPC), pode ser possível economizar cerca de R\$ 139.047,62/ano com mão de obra e equipamento para moer amostras. É possível também, ter uma antecipação de resultados em 834 diárias de trabalho, que seria o tempo necessário para moer essas 100.000 amostras.

Tabela 4. Rendimento operacional e custo total para o processo de moer as amostras de serragem em moinho do tipo ciclone.

Atividades	Amostras moídas/mês	Amostras sem moer	Amostras moídas/ano (empresa)
Rendimento operacional (amostra moída/homem/hora)	15	-	15
Média	2.520	-	100.000
Dias necessários	21		834
Custos			
Moinho ciclone	R\$20.000	R\$ 0,00	R\$ 20.000,00
Pagamentos colaborador*	R\$ 3.000	R\$ 0,00	R\$ 119.047,62
Total	R\$23.000	R\$ 0,00	R\$ 139.047,62

* Considerando um colaborador necessário para moer as amostras, com um salário de R\$ 1.500,00/mês, mais encargos (considerado 100% sobre o salário base). Preço do dólar comercial: R\$ 3,6011, data da cotação: 11/05/2018.

Sabe-se que hoje um dos gargalos para uso da espectroscopia NIR em escala operacional nas empresas, é a demora em moer as amostras e que por vezes, pode ser até mais rápido realizar a química úmida do que o processo de moagem de amostras. Assim, do ponto de vista econômico e operacional fica claro a vantagem de utilizar as amostras sem moer em leituras de espectros NIR, desde que também seja viável do ponto de vista técnico.

4. Conclusões

Existe variância genética para os caracteres da madeira para *E. dunnii* com possibilidade de ganhos genotípicos com a seleção.

Correlações genotípicas altas foram observadas entre o ordenamento dos tipos de amostras (moídas e sem moer), com possibilidade de seleção de genótipos em

qualquer um dos processamentos de amostra obtidas mediante a estimativa em espectroscopia NIR.

Um número médio de 10 repetições é adequado para estimativa de altas acurácias para CINZ, LGK, LGT e HOLO por meio da espectroscopia NIR de amostras não moídas. No entanto, para acurácias acima de 0,90, para os caracteres de amostras sem moer, RCEL, DB, EXTA e EXTO é necessário um número médio de 20 repetições.

Foi possível obter maiores valores de correlação no geral, para os caracteres da madeira, obtidos via amostras moídas. Correlações negativas observadas de CINZ, EXTA, EXTO, LGK e LGT com DB e RCEL são favoráveis para a seleção de genótipos para indústria de papel e celulose.

O índice de rank médio possibilitou a seleção de genótipos superiores com base em todas as características da madeira. Mesmo com valores mais baixos de parâmetros genéticos para DB-S, pode ser identificado com o uso do índice de rank médio, genótipos que não seriam selecionados.

A seleção com base em amostras sem moer pode ser realizada desde que, levadas em consideração a acurácia seletiva para avaliação com base em um único caractere, ou, aplicado índice rank médio para avaliação com base em vários caracteres da madeira.

Foi possível selecionar 25 clones com uso do rank médio de amostras sem moer, com 95 % de coincidência com o rank médio das amostras moídas. Os cinco primeiros clones selecionados com base em amostras sem moer foram 17, 36, 15, 81 e 46.

Do ponto de vista operacional, de custos e de antecipação de resultados, foi indicado utilizar a serragem sem moer para o preparo de amostras para leitura em espectroscopia NIR neste trabalho.

5. Referências

ANDRADE, M. C. N. *et al.* Chemical analysis of the wood and bark of different *Eucalyptus* types before and during the shiitake cultivation. *Revista Arvore*, v. 34, n. 1, p. 165–175, 2010.

BRAGA, J. W. B. *et al.* The use of near infrared spectroscopy to identify solid wood specimens of *Swietenia macrophylla* (cites appendix ii). *IAWA Journal*, v. 32, n. 2, p. 285–296, 2011.

CARRILLO, I. *et al.* Wood anatomical and chemical properties related to the pulpability of *Eucalyptus globulus*: a review. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, p. 1–8, 2017.

ESTOPA, R. A.; MILAGRES, R. F.; GOMES, F. J. B.; *et al.* Caracterização química da madeira de *Eucalyptus benthamii* através de espectroscopia NIR. *O papel*, v. 78, n. 2, p. 75–81, 2017.

ESTOPA, R. A.; MILAGRES, F. R.; OLIVEIRA, R. A.; *et al.* NIR spectroscopic models for phenotyping wood traits in breeding programs of *Eucalyptus benthamii*. *Cerne*, v. 23, n. 3, p. 367–375, 2017.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 14 anos. *Ipef*, v. nd., n. 4, p. 65–89, 1972.

FREDDO, A. *et al.* Elementos minerais em madeiras de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose kraft branqueada. *Ciência Florestal*, v. 9, n. 1, p. 193–209, 2009.

GION, J.-M. *et al.* Comprehensive genetic dissection of wood properties in a widely-grown tropical tree: *Eucalyptus*. *BMC Genomics*, v. 12, n. 1, p. 301, 2011.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. Análise de Critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de Celulose Kraft. *Revista Árvore*, v. 34, n. 2, p. 339–344, 2010.

HAMILTON, M. G. *et al.* Independent lines of evidence of a genetic relationship between acoustic wave velocity and kraft pulp yield in *Eucalyptus globulus*. *Annals of Forest Science*, v. 74, n. 1, 2017.

HEIN, P. R. G. *et al.* Age trends of microfibril angle inheritance and their genetic and environmental correlations with growth, density and chemical properties in *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake wood. *Annals of Forest Science*, v. 69, n. 6, p. 681–691, 2012.

HEIN, P. R. G.; LIMA, J. T.; CHAIX, G. Effects of sample preparation on NIR spectroscopic estimation of chemical properties of *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake wood. *Holzforschung*, v. 64, n. 1, p. 45–54, 2010.

HUNG, T. D. *et al.* Estimates of genetic parameters for growth and wood properties in *Eucalyptus pellita* F. Muell. to support tree breeding in Vietnam. *Annals of Forest Science*, v. 72, n. 2, p. 205–217, 2015.

JIANG, W. *et al.* Rapid assessment of coniferous biomass lignin-carbohydrates with near-infrared spectroscopy. *Wood Science and Technology*, v. 48, n. 1, p. 109–122, 2014.

JONES, P. D. *et al.* Comparison of *Pinus taeda* L. whole-tree wood property calibrations using diffuse reflectance near infrared spectra obtained using a variety of sampling options. *Wood Science and Technology*, v. 42, n. 5, p. 385–400, 2008.

KILULYA, K. F. *et al.* Effect of site, species and tree size on the quantitative variation of lipophilic extractives in *Eucalyptus* woods used for pulping in South Africa. *Industrial Crops and Products*, v. 56, p. 166–174, 2014.

KLOCK, U. *et al.* *Química da madeira*. 3. ed. Curitiba: UFPR, 2005.

LI, C. *et al.* Genetic parameters for growth and wood mechanical properties in *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. *New Forests*, v. 48, n. 1, p. 33–49, 2017.

LI, Y.; ALTANER, C. Predicting extractives content of *Eucalyptus bosistoana* F. Muell. Heartwood from stem cores by near infrared spectroscopy. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 198, p. 78–87, 2018.

MAKOUANZI, G.; CHAIX, G.; NOURISSIER, S. Genetic variability of growth and wood chemical properties in a clonal population of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* in the Congo. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, p. 1–8, 2017.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. *Egyptian Journal of Genetics and Cytology*, v. 7, n. 1, p. 40–51, 1978.

NOVAES, E. *et al.* Lignin and Biomass: A Negative Correlation for Wood Formation and Lignin Content in Trees. *Plant Physiology*, v. 154, n. 2, p. 555–561, 2010.

NUNES, A. C. P. *et al.* Estabelecimento de zonas de melhoramento para clones de eucalipto no Rio Grande do Sul. *Scientia Forestalis*, v. 44, n. 111, p. 563–574, 2016.

POKE, F. S.; RAYMOND, C. A. Predicting extractives, lignin, and cellulose contents using near infrared spectroscopy on solid wood in *Eucalyptus globulus*. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, v. 26, n. 2, p. 187–199, 2006.

QUEIROZ, S. C. S. *et al.* Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Revista Árvore*, v. 28, n. 6, p. 901–909, 2004.

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.

RESENDE, M. D. V. *Genética quantitativa e de populações*. Viçosa: Suprema, 2015.

RESENDE, M. D. V. *Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético*. Colombo: Embrapa Florestas, 2007.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: A useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 16, n. 4, p. 330–339, 2016.

RODRIGUES, E. D. C. *et al.* Clone selection of Eucalyptus envisaging wood physical properties assessed on field conditions. *Cerne*, v. 14, n. 2, p. 147–152, 2008.

SANTOS, G. A. *et al.* Genetic control and genotype-by-environment interaction of wood weight in *Eucalyptus* clones in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Árvore*, v. 40, n. 5, p. 867–876, 2016.

SCHIMLECK, L. R. *et al.* Microfibril angle prediction of *Pinus taeda* wood samples based on tangential face NIR spectra. *IAWA Journal*, v. 28, n. 1, p. 1–12, 2007.

SCHIMLECK, L. R.; KUBE, P. D.; RAYMOND, C. A. Genetic improvement of kraft pulp yield in *Eucalyptus nitens* using cellulose content determined by near infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 34, p. 2362–2370, 2004.

SCHWANNINGER, M. *et al.* Effects of short-time vibratory ball milling on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose. *Vibrational Spectroscopy*, v. 36, n. 1, p. 23–40, 2004.

SILVÉRIO, F. O. *et al.* Characterization of lipophilic wood extractives from clones of *Eucalyptus urograndis* cultivate in Brazil. *BioResources*, v. 2, n. 2, p. 157–168, 2007.

STACKPOLE, D. J. *et al.* Genetic control of kraft pulp yield in *Eucalyptus globulus*. *Canadian journal of*, n. 40, p. 917–927, 2010.

STACKPOLE, D. J. *et al.* Genetic Variation in the Chemical Components of *Eucalyptus globulus* Wood. *Genes, Genomes, Genetics*, v. 1, n. 2, p. 151–159, 2011.

TSUCHIKAWA, S.; KOBORI, H. A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. *Journal of Wood Science*, v. 61, n. 3, p. 213–220, 2015.

SEÇÃO 4
CONCLUSÕES GERAIS

CONCLUSÕES GERAIS

Com base nos objetivos definidos neste trabalho, buscando a seleção de clones de *Eucalyptus dunnii* em caracteres da madeira estimados via espectroscopia do infravermelho próximo (NIR), conclui-se que existe variância genética para os caracteres da madeira, portanto há possibilidade de ganhos genotípicos com a seleção.

As características da madeira em *E. dunnii* apresentados nesse trabalho apresentam valores de moderados a altos de herdabilidade, com acurácias seletivas altas. Foi possível obter correlações genéticas favoráveis para a seleção com base em caracteres da madeira para produção de celulose e papel.

Foi constatado apenas interação do tipo simples para clones x ambientes, podendo ser selecionados clones com altos valores de IMAvol, LGK, EXTO e IMACel nos três ambientes testados. A partir disto, foram identificados clones elites e distintos com ganhos elevados nos caracteres IMAvol, LGK, DB, e IMACel, como o clone 9, se comparado com a testemunha comercial da empresa (76). Portanto, plantios comerciais do clone 9 selecionados com base no IMACel, são recomendados.

Foram observadas diferenças nos parâmetros genéticos entre as amostras de serragem moídas e sem moer, porém, correlações genotípicas altas foram observadas entre o ordenamento dos tipos de amostras (moídas e sem moer). Com esse resultado, é possível concluir que há possibilidade de seleção de genótipos em qualquer um dos processamentos de amostra obtidas mediante a estimativa em espectroscopia NIR.

Para estimativa de valores altos de acurácias para os caracteres CINZ, LGK, LGT e HOLO por meio da espectroscopia NIR de amostras não moídas é necessário um número médio de dez repetições. Já para valores altos de acurácias para os caracteres RCEL, DB, EXTA e EXTO de amostras sem moer, é necessário um número médio de vinte repetições.

A utilização do índice de rank médio possibilitou a seleção de genótipos superiores com base em todas as características da madeira. Com isso, a seleção com base em amostras sem moer pode ser realizada desde que, levadas em consideração a acurácia seletiva para avaliação com base em um único caractere, ou, aplicado índice rank médio para avaliação com base em vários caracteres da madeira

Do ponto de vista operacional, de custos e de antecipação de resultados, foi indicado utilizar a serragem sem moer para o preparo de amostras para leitura em espectroscopia NIR neste trabalho.

Diante do exposto, há possibilidade de seleção visando o aumento da produção de celulose em clones de *Eucalyptus dunnii* com base em caracteres de crescimento e características da madeira estimados com uso de amostras sem moer por meio da espectroscopia NIR.

O uso da espectroscopia NIR para estimativa de caracteres da madeira é vantajoso em programas de melhoramento, pois, a seleção dos genótipos superiores pode ser realizada com objetivos específicos para a indústria. Essa metodologia também possibilita a análise de inúmeras amostras, com redução do tempo e de custos. Com a possibilidade da fenotipagem em larga escala, essa tecnologia pode ser aplicada juntamente com programas de melhoramento florestal com o uso da seleção genômica ampla (GWS), visando a seleção precoce de materiais genéticos e a redução do ciclo de melhoramento florestal.

As conclusões geradas com esse trabalho possibilitarão apoio científico e prático para inserção de caracteres da madeira em programas de melhoramento florestal. Com isso, programas de melhoramento florestal futuros poderão gerar genótipos específicos para a demanda da indústria e do mercado, gerando florestas extremamente produtivas e competitivas para o setor.

ANEXOS

Tabela 1. Média e desvio padrão (\pm) dos valores fenotípicos de cada clone observados para os caracteres diâmetro a altura do peito (DAP, cm), altura total (AT, m), volume sem casca (VOL, m³), incremento médio anual em volume (IMAVol, m³.ha⁻¹.ano⁻¹), extrativos totais (EXTO, %), lignina Klason (LGK, %), densidade básica (DB, kg.m⁻³), rendimento de celulose (RCEL, %) e incremento médio anual em celulose (IMACel, ton.ha⁻¹.ano⁻¹) aos 3,5 anos de idade.

Clone	DAP (cm)	AT (m)	VOL (m ³)	IMAVol (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	EXTO (%)	LGK (%)	DB (kg.m ⁻³)	RCEL (%)	IMACel (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
1	15,11 \pm 4,05	15,88 \pm 2,13	0,12 \pm 0,06	44,69 \pm 21,77	2,85 \pm 0,26	24,67 \pm 0,94	401,61 \pm 14,42	50,12 \pm 1,64	8,81 \pm 4,73
2	14,79 \pm 3,14	15,58 \pm 1,84	0,1 \pm 0,05	37,92 \pm 19,92	3,02 \pm 0,47	25,77 \pm 0,93	393,15 \pm 13,27	48,92 \pm 1,96	6,79 \pm 3,54
3	13,45 \pm 4,37	15,08 \pm 2,85	0,1 \pm 0,05	36,34 \pm 20,05	2,84 \pm 0,53	24,81 \pm 1,05	431,95 \pm 30,5	50,3 \pm 1,27	8,37 \pm 4,36
4	14,37 \pm 3,8	15,43 \pm 2,83	0,1 \pm 0,05	39,62 \pm 18,51	2,81 \pm 0,45	25,05 \pm 0,88	402,7 \pm 20,92	48,89 \pm 1,74	7,64 \pm 3,72
5	16,5 \pm 5,09	15,34 \pm 3,28	0,14 \pm 0,08	55,01 \pm 29,66	2,82 \pm 0,55	23,29 \pm 0,84	423,37 \pm 22,07	48,9 \pm 1,37	11,79 \pm 6,22
6	15,82 \pm 4,08	15,42 \pm 2,41	0,12 \pm 0,07	46,46 \pm 24,96	2,87 \pm 0,54	24,16 \pm 0,98	419,84 \pm 23,08	48,81 \pm 1,32	9,58 \pm 4,92
7	13,37 \pm 3,83	14,5 \pm 2,44	0,08 \pm 0,05	30,76 \pm 20,78	3,35 \pm 0,41	25,08 \pm 0,97	396,79 \pm 15,85	48,54 \pm 1,49	5,87 \pm 4,17
8	17,16 \pm 3,33	15,86 \pm 1,95	0,14 \pm 0,05	53,49 \pm 19,54	2,8 \pm 0,59	23,77 \pm 0,94	428,41 \pm 25,02	48,51 \pm 1,64	10,35 \pm 3,85
9	18,43 \pm 3,24	17,43 \pm 1,23	0,18 \pm 0,06	67,56 \pm 21,11	2,77 \pm 0,52	23,03 \pm 1,18	430,33 \pm 26,05	48,68 \pm 1,57	13,79 \pm 4,27
10	15,37 \pm 4,89	15,07 \pm 2,7	0,12 \pm 0,07	46,86 \pm 27,59	2,94 \pm 0,6	23,2 \pm 0,68	440,33 \pm 21,93	49,08 \pm 1,85	10,15 \pm 5,26
11	18,13 \pm 3,55	16,84 \pm 2,52	0,17 \pm 0,07	65,05 \pm 25,83	3,04 \pm 0,63	23,34 \pm 1,03	412,07 \pm 24,25	48,42 \pm 1,64	13,39 \pm 6,25
12	14,66 \pm 3,66	15,67 \pm 3,12	0,11 \pm 0,05	40,71 \pm 17,68	2,54 \pm 0,58	23,79 \pm 1,06	429,24 \pm 27,48	49,63 \pm 1,65	8,89 \pm 3,74
13	14,07 \pm 2,51	15,37 \pm 1,64	0,09 \pm 0,04	32,56 \pm 13,94	3,26 \pm 0,67	23,26 \pm 0,93	411,78 \pm 18,11	49,85 \pm 1,74	6,60 \pm 3,18
14	17,35 \pm 3,71	16,11 \pm 2,17	0,15 \pm 0,07	55,47 \pm 26,06	2,91 \pm 0,34	24,26 \pm 0,92	407,08 \pm 19,36	49,6 \pm 1,42	9,61 \pm 4,89
15	16,47 \pm 4,04	16,05 \pm 2,26	0,14 \pm 0,07	52,89 \pm 27,54	3,08 \pm 0,49	22,44 \pm 1,18	421,82 \pm 18,47	49,39 \pm 2,07	11,02 \pm 6,1
16	13,73 \pm 4,52	14,06 \pm 3,45	0,1 \pm 0,04	36,97 \pm 17,12	3,12 \pm 0,52	24,09 \pm 0,86	422,87 \pm 18,7	48,34 \pm 1,67	7,51 \pm 3,16
17	12,82 \pm 4,05	13,91 \pm 2,65	0,07 \pm 0,05	28,44 \pm 17,91	2,58 \pm 0,52	23,2 \pm 1,32	446,75 \pm 22,06	51,13 \pm 1,43	6,68 \pm 4,04
18	16,15 \pm 4,66	15,26 \pm 3,24	0,14 \pm 0,05	52,25 \pm 20,16	3,07 \pm 0,31	24,48 \pm 0,73	411,27 \pm 16,12	47,94 \pm 1,77	10,15 \pm 3,78
19	14,76 \pm 2,12	15,14 \pm 1,67	0,09 \pm 0,03	35,26 \pm 12,26	2,7 \pm 0,64	23,01 \pm 1	439,36 \pm 26,59	50,18 \pm 1,63	7,76 \pm 2,94

Clone	DAP (cm)	AT (m)	VOL (m ³)	IMAVol (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	EXTO (%)	LGK (%)	DB (kg.m ⁻³)	RCEL (%)	IMACel (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
20	16,76 ±2,54	16,3 ±1,44	0,13 ±0,05	50,08 ±18,02	2,92 ±0,34	23,7 ±0,68	416,6 ±17,09	49,66 ±1,34	10,44 ±4,34
21	17,66 ±4,22	15,19 ±3,67	0,15 ±0,07	55,88 ±27,17	2,62 ±0,69	23,9 ±1	418,48 ±28,72	49,17 ±2,09	11,61 ±6,01
22	16,4 ±3,64	15,9 ±1,64	0,13 ±0,05	49,27 ±20,33	2,82 ±0,4	24,39 ±0,93	402,37 ±16,93	48,95 ±1,65	8,63 ±4,09
23	15,56 ±3,17	15,86 ±1,88	0,12 ±0,04	45,35 ±17,01	3,02 ±0,6	23,85 ±1,03	415,29 ±21,85	48,65 ±1,84	9,00 ±3,69
24	17,12 ±3,4	17,22 ±1,63	0,15 ±0,06	58,73 ±24,17	2,7 ±0,66	23,2 ±1,09	421,08 ±23,61	49,57 ±1,62	12,39 ±5,15
25	16,28 ±3,54	15,88 ±1,95	0,13 ±0,06	48,21 ±21,07	2,99 ±0,64	23,94 ±0,78	415,25 ±19,09	48,83 ±1,9	9,87 ±4,07
26	15,02 ±2,98	15,76 ±1,98	0,1 ±0,05	39,23 ±18,62	3,09 ±0,36	24,18 ±0,58	407,94 ±18,02	48,86 ±1,6	8,04 ±3,33
27	17,7 ±3,88	16,37 ±2,29	0,16 ±0,06	60,81 ±24,44	2,71 ±0,53	23,35 ±0,9	421,16 ±18,85	49,94 ±1,42	13,3 ±5,39
28	14,96 ±2,64	15,29 ±2,05	0,1 ±0,03	37,93 ±12,77	2,99 ±0,47	25,26 ±0,67	395,89 ±17,79	49,71 ±1,55	7,62 ±2,69
29	15,53 ±3,97	15,23 ±3,34	0,12 ±0,06	45,53 ±23,99	2,91 ±0,52	25,76 ±0,96	387,94 ±27,67	49,07 ±1,35	9,09 ±4,45
30	12,92 ±4,44	14,04 ±3,2	0,08 ±0,05	31,09 ±19,09	3,05 ±0,54	23,37 ±0,91	416,37 ±23,85	48,48 ±1,37	6,79 ±4,05
31	13,62 ±3,95	14,27 ±2,26	0,08 ±0,05	32,12 ±18,17	2,94 ±0,54	23,64 ±0,9	423,21 ±23,21	50 ±1,7	6,91 ±4,26
32	15,38 ±2,71	15,35 ±1,88	0,1 ±0,05	39,82 ±17,9	2,52 ±0,55	24,8 ±0,91	417,55 ±21,2	49,42 ±1,69	8,12 ±3,57
33	18,11 ±2,56	16,35 ±1,24	0,15 ±0,05	58,47 ±19,25	2,67 ±0,59	22,85 ±0,98	421,21 ±28,24	49,65 ±1,56	12,59 ±4,37
34	17,41 ±4,78	16,21 ±2,92	0,16 ±0,07	62,58 ±27,98	3,42 ±0,45	23,44 ±0,99	403,05 ±16,02	47,13 ±1,74	13,29 ±4,67
35	16,27 ±3,22	15,74 ±2,62	0,12 ±0,07	47,18 ±25,53	2,81 ±0,4	23,28 ±0,84	407,58 ±21,03	50,15 ±1,36	9,38 ±5,28
36	14,3 ±4	15,17 ±2,45	0,11 ±0,04	40,4 ±16,24	2,61 ±0,41	23,05 ±0,93	435,39 ±19,18	51,15 ±1,33	9,10 ±3,85
37	16,39 ±3,89	15,47 ±2,28	0,13 ±0,06	49,65 ±23	3,26 ±0,47	25,18 ±0,7	401,03 ±19,92	47,67 ±1,43	9,48 ±4,19
38	15,37 ±3,79	15,46 ±2,29	0,11 ±0,06	42,08 ±22,14	3,05 ±0,47	23,2 ±0,9	409,78 ±21,13	48,58 ±1,8	8,94 ±3,5
39	15,22 ±5,75	15 ±3,15	0,13 ±0,08	51,42 ±31,05	3,02 ±0,69	23,18 ±0,69	415,29 ±22,25	49,56 ±2	10,10 ±6,55
40	17,23 ±4,16	15,91 ±2,58	0,14 ±0,07	55,12 ±25,3	2,8 ±0,52	22,42 ±0,85	417,09 ±21,41	49,51 ±1,56	12,49 ±4,41
41	9,64 ±3,57	12,56 ±2,38	0,04 ±0,04	13,63 ±16,53	3 ±0,41	24,93 ±1,07	402,51 ±18,37	48,64 ±1,64	2,42 ±2,13
42	17,61 ±3,4	16,71 ±2,14	0,15 ±0,06	58,85 ±24,47	2,92 ±0,46	23,23 ±0,98	420,01 ±19,52	49,45 ±1,2	12,68 ±4,66
43	15,93 ±3,7	15,8 ±1,94	0,12 ±0,06	45,92 ±24,51	2,97 ±0,38	23,9 ±0,9	425,36 ±19,37	49,4 ±1,92	10,05 ±5,29
44	14,43 ±4,54	15,03 ±3,16	0,11 ±0,06	40,95 ±23,87	2,87 ±0,46	25,15 ±0,82	398,4 ±21,56	48,97 ±1,78	7,98 ±4,16
45	15,14 ±2,72	15,57 ±1,8	0,1 ±0,04	39,18 ±15,14	2,77 ±0,58	24,02 ±0,76	412,59 ±23,18	50,05 ±1,79	8,48 ±2,75

Clone	DAP (cm)	AT (m)	VOL (m ³)	IMAVol (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	EXTO (%)	LGK (%)	DB (kg.m ⁻³)	RCEL (%)	IMACel (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
46	14,42 ±4,06	14,82 ±3,09	0,1 ±0,05	37,75 ±18,36	2,89 ±0,79	23,37 ±0,69	437,9 ±18,18	49,67 ±1,6	8,28 ±4,02
47	17,38 ±4,32	15,89 ±2,23	0,15 ±0,07	57,76 ±25,12	3,65 ±0,31	26,42 ±0,69	393,19 ±17,24	48,17 ±1,45	10,65 ±4,47
48	14,73 ±4,29	14,94 ±3,4	0,11 ±0,06	40,62 ±23,75	2,96 ±0,47	24,24 ±0,6	410,16 ±20,64	49,65 ±1,91	8,45 ±4,68
49	14,57 ±4,37	14,53 ±3,04	0,1 ±0,05	38,9 ±18,51	2,9 ±0,27	23,6 ±0,49	402,57 ±7,85	49,08 ±0,78	7,37 ±4,52
50	17,32 ±3,68	15,83 ±1,35	0,14 ±0,06	52,57 ±22,92	2,81 ±0,93	23,73 ±0,87	420,71 ±24,35	48,24 ±1,56	10,58 ±4,95
51	15,95 ±1,88	15,88 ±0,92	0,11 ±0,03	42,46 ±10,95	2,83 ±0,69	22,42 ±0,39	441,22 ±27,39	47,91 ±2,33	8,99 ±2,49
52	15,71 ±1,86	15,58 ±1,15	0,11 ±0,03	40,12 ±10,58	2,85 ±0,44	24,29 ±0,95	411,83 ±19,31	48,87 ±1,17	8,10 ±2,48
53	15,59 ±2,85	15,22 ±1,26	0,1 ±0,04	40,02 ±17,05	3,02 ±0,21	23,63 ±0,77	401,21 ±14,7	48,04 ±2,14	6,88 ±3,11
54	19,19 ±2,87	16,23 ±1,52	0,17 ±0,06	65,89 ±23,14	2,3 ±0,84	23,75 ±0,98	429,83 ±30,58	48,76 ±0,92	12,08 ±4,99
55	18,17 ±2,5	16,3 ±1,22	0,15 ±0,05	58,31 ±18,12	2,55 ±0,61	23,63 ±0,5	437,5 ±16,96	49,31 ±1,24	12,42 ±4,47
56	15,71 ±3	14,69 ±2,01	0,1 ±0,05	39,98 ±20,72	2,57 ±0,71	24,46 ±0,89	416,99 ±22,78	48,78 ±1,19	7,59 ±4,24
57	18,36 ±2,87	15,93 ±0,89	0,15 ±0,05	57,94 ±19,82	2,82 ±0,98	24,29 ±0,93	405,49 ±21,59	47,67 ±1,49	10,21 ±3,25
58	18,31 ±2,03	16,23 ±1,11	0,15 ±0,03	58,39 ±13,31	2,64 ±0,72	23,29 ±0,94	430,27 ±30,84	47,85 ±1,11	12,2 ±3,28
59	16,94 ±3,38	15,87 ±1,82	0,13 ±0,06	51,2 ±22,54	2,69 ±0,73	23,07 ±0,92	433,91 ±35,72	47,6 ±1,58	12,22 ±4,41
60	16,29 ±2,37	15,16 ±1,1	0,11 ±0,04	42,39 ±15,18	2,71 ±0,54	24,24 ±0,66	409,69 ±16,35	48,91 ±1,74	8,40 ±3,53
61	14,37 ±4,11	14,44 ±3	0,1 ±0,04	37,37 ±15,45	2,61 ±0,7	23,8 ±0,75	431,9 ±21,13	49,29 ±1,72	7,39 ±3,04
62	15,84 ±3,46	15,5 ±1,1	0,11 ±0,06	42,97 ±21,67	2,54 ±0,88	24,41 ±0,77	421,51 ±25,34	48,26 ±1,3	8,16 ±4,14
63	19,78 ±1,2	15,55 ±3,98	0,17 ±0,05	65,07 ±19,34	2,52 ±0,56	23,98 ±1,19	426,06 ±25,5	48,44 ±1,26	14,66 ±1,48
64	14,09 ±1,88	14,8 ±2,58	0,08 ±0,03	30,37 ±12,02	2,74 ±0,83	24,38 ±0,68	426,6 ±28,93	47,52 ±1,51	6,51 ±2,75
65	17,48 ±1,95	16,08 ±1,41	0,14 ±0,04	52,7 ±14,85	2,65 ±0,61	22,76 ±0,53	445,2 ±21,79	48,87 ±1,07	11,43 ±4,2
66	18,67 ±1,97	16,31 ±1,03	0,16 ±0,05	61,45 ±17,17	3,18 ±0,85	23,63 ±0,94	423,3 ±31	48 ±1,65	12,95 ±3,58
67	15,56 ±3,42	15,18 ±1,47	0,11 ±0,05	40,42 ±20,82	2,35 ±0,91	22,98 ±0,97	431,35 ±41,25	48,93 ±1,51	8,79 ±5,07
68	15,44 ±5,45	14,1 ±3,29	0,12 ±0,05	45,77 ±20,66	2,85 ±0,46	22,79 ±1,3	438,5 ±20,91	48,4 ±1,77	9,75 ±4,49
69	16,22 ±2,95	14,85 ±1,29	0,11 ±0,05	42,04 ±17,49	2,47 ±0,73	23,56 ±0,31	441,07 ±26,02	49,1 ±2	7,75 ±3,25
70	17,85 ±3,77	16,02 ±1,26	0,15 ±0,06	56,83 ±24,51	2,61 ±0,58	23,2 ±0,63	422,4 ±24,71	48,84 ±1,09	11,31 ±5,59
71	14,83 ±1,71	15,29 ±1,11	0,09 ±0,02	34,66 ±8,85	2,46 ±0,64	24,92 ±0,51	405,65 ±23,14	48,84 ±0,98	7,07 ±1,39

Clone	DAP (cm)	AT (m)	VOL (m³)	IMAVol (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)	EXTO (%)	LGK (%)	DB (kg.m⁻³)	RCEL (%)	IMACel (ton.ha⁻¹.ano⁻¹)
72	17,77 ±2,47	16,15 ±0,6	0,14 ±0,04	54,3 ±13,94	2,86 ±0,58	24,02 ±0,64	414,41 ±20,57	47,35 ±1,67	10,53 ±2,3
73	14,44 ±2,74	15,17 ±1,73	0,09 ±0,04	34,09 ±15,59	3,04 ±0,83	23,37 ±0,68	442,49 ±30,06	49,01 ±1,42	7,31 ±4,06
74	13,18 ±3,56	14,15 ±2,1	0,07 ±0,06	27,39 ±23,7	2,78 ±0,97	23,78 ±0,67	420,02 ±34,71	48,82 ±1,84	4,38 ±2,14
75	15,55 ±2,45	14,96 ±0,99	0,1 ±0,04	38,11 ±13,42	2,76 ±0,45	23,38 ±0,89	431,95 ±18,98	47,68 ±1,6	7,81 ±2,66
76	16 ±2,84	15,87 ±1,81	0,12 ±0,05	44,54 ±18,65	3,26 ±0,54	27,43 ±0,54	394,17 ±16,99	47,56 ±1,9	9,03 ±4,29
77	14,7 ±4,62	15,6 ±3,4	0,12 ±0,06	45,16 ±24,37	2,99 ±0,39	26,99 ±0,81	423,61 ±17,92	48,95 ±1,82	9,02 ±4,7
78	13,51 ±3,62	14,4 ±2,13	0,08 ±0,05	31,75 ±17,65	2,99 ±0,56	22,89 ±1,14	427,6 ±24,21	49,8 ±2,47	6,91 ±3,96
79	15,79 ±3,18	15,73 ±2,55	0,12 ±0,06	44,27 ±21,13	2,63 ±0,71	26,3 ±1,13	434,75 ±20,02	49,66 ±1,92	8,92 ±4,73
80	14,83 ±4,59	15,59 ±2,79	0,12 ±0,06	46,99 ±21,19	2,84 ±0,56	21,78 ±1,08	441,28 ±20,24	49,6 ±1,53	10,6 ±4,94
81	14,38 ±3,98	15,15 ±3,28	0,1 ±0,07	38,67 ±24,94	2,88 ±0,81	22,73 ±1,09	428,53 ±20,35	49,34 ±1,75	7,89 ±5,4
82	15,56 ±2,58	15,38 ±2,72	0,11 ±0,05	40,82 ±17,72	2,85 ±0,56	24,17 ±1,08	420,38 ±25,12	48,98 ±1,42	8,76 ±3,77

Tabela 2. Ordenamento dos 20 melhores clones e testemunha comercial (32864) por seus valores genotípicos e ganhos genéticos preditos para o caráter DAP (cm), na análise conjunta entre os ambientes.

Ordem	Genótipo	g	u+g	Ganho	Nova Média	Ganho acumulado em relação à média geral (%)	Ganho individual em relação à média geral (%)	Ganho acumulado em relação à média da testemunha (%)	Ganho individual em relação à média da testemunha (%)
1	9	2,11	17,62	2,11	17,62	13,61	13,61	11,45	11,45
2	11	1,95	17,46	2,03	17,54	13,08	12,55	10,93	10,41
3	33	1,77	17,28	1,94	17,45	12,52	11,41	10,38	9,29
4	63	1,73	17,24	1,89	17,40	12,18	11,15	10,05	9,03
5	27	1,54	17,05	1,82	17,33	11,73	9,94	9,61	7,85
6	21	1,51	17,02	1,77	17,28	11,40	9,74	9,28	7,66
7	54	1,50	17,01	1,73	17,24	11,15	9,65	9,04	7,57
8	34	1,39	16,90	1,69	17,20	10,87	8,93	8,77	6,86
9	14	1,24	16,75	1,64	17,15	10,55	7,98	8,45	5,93
10	8	1,22	16,73	1,60	17,11	10,28	7,88	8,19	5,83
11	66	1,20	16,71	1,56	17,07	10,05	7,71	7,96	5,67
12	24	1,11	16,62	1,52	17,03	9,81	7,17	7,72	5,13
13	57	1,08	16,59	1,49	17,00	9,59	6,93	7,51	4,90
14	42	1,03	16,55	1,45	16,97	9,38	6,67	7,30	4,64
15	58	1,03	16,54	1,43	16,94	9,20	6,61	7,12	4,59
16	55	0,99	16,50	1,40	16,91	9,02	6,38	6,95	4,36
17	20	0,97	16,48	1,37	16,89	8,86	6,24	6,79	4,22
18	47	0,91	16,42	1,35	16,86	8,69	5,87	6,63	3,86
19	70	0,82	16,34	1,32	16,83	8,51	5,31	6,45	3,31
20	40	0,78	16,30	1,29	16,81	8,34	5,06	6,28	3,06
32	76	0,30	15,81	1,01	16,52	6,49	1,94	4,47	0,00
Média Geral = 15,51									

Tabela 3. Ordenamento dos 20 melhores clones e testemunha comercial (32864) por seus valores genotípicos e ganhos genéticos preditos para o caráter Altura (AT, m), na análise conjunta entre os ambientes.

Ordem	Genótipo	g	u+g	Ganho	Nova Média	Ganho acumulado em relação à média geral (%)	Ganho individual em relação à média geral (%)	Ganho acumulado em relação à média da testemunha (%)	Ganho individual em relação à média da testemunha (%)
1	9	1,24	16,71	1,24	16,71	8,01	8,01	6,79	6,79
2	24	1,17	16,64	1,20	16,67	7,78	7,55	6,57	6,34
3	11	0,96	16,43	1,12	16,59	7,25	6,18	6,04	4,98
4	27	0,62	16,09	0,99	16,46	6,43	3,98	5,23	2,81
5	33	0,62	16,08	0,92	16,39	5,94	3,98	4,75	2,80
6	20	0,61	16,08	0,87	16,34	5,61	3,95	4,42	2,77
7	42	0,55	16,02	0,82	16,29	5,32	3,58	4,13	2,41
8	34	0,51	15,98	0,78	16,25	5,06	3,27	3,88	2,11
9	55	0,48	15,95	0,75	16,22	4,85	3,12	3,66	1,95
10	54	0,44	15,91	0,72	16,19	4,65	2,84	3,47	1,68
11	66	0,41	15,87	0,69	16,16	4,46	2,62	3,28	1,46
12	58	0,38	15,85	0,66	16,13	4,30	2,48	3,12	1,32
13	65	0,37	15,84	0,64	16,11	4,15	2,42	2,98	1,27
14	70	0,35	15,82	0,62	16,09	4,02	2,28	2,85	1,13
15	15	0,35	15,82	0,60	16,07	3,90	2,24	2,73	1,08
16	14	0,35	15,82	0,59	16,06	3,80	2,24	2,63	1,08
17	8	0,32	15,79	0,57	16,04	3,70	2,10	2,53	0,95
18	23	0,31	15,78	0,56	16,03	3,60	2,02	2,43	0,87
19	57	0,31	15,78	0,54	16,01	3,52	2,01	2,35	0,86
20	25	0,29	15,76	0,53	16,00	3,44	1,89	2,27	0,74
27	76	0,18	15,65	0,45	15,92	2,91	1,14	1,75	0,00
Média Geral = 15,47									

Tabela 4. Ordenamento dos 20 melhores clones e testemunha comercial (32864) por seus valores genotípicos e ganhos genéticos preditos para o caráter Incremento Médio Anual em volume com 3,5 anos (IMA_{vol}, m³.ha⁻¹.ano⁻¹), na análise conjunta entre os ambientes.

Ordem	Genótipo	g	u+g	Ganho	Nova Média	Ganho acumulado em relação à média geral (%)	Ganho individual em relação à média geral (%)	Ganho acumulado em relação à média da testemunha (%)	Ganho individual em relação à média da testemunha (%)
1	9	17,16	62,42	17,16	62,42	37,92	37,92	41,47	41,47
2	11	16,04	61,30	16,60	61,86	36,68	35,44	40,19	38,92
3	34	13,73	58,99	15,64	60,90	34,57	30,34	38,03	33,69
4	27	12,84	58,10	14,94	60,20	33,02	28,38	36,44	31,68
5	54	12,69	57,94	14,49	59,75	32,03	28,04	35,42	31,33
6	63	11,77	57,03	14,04	59,30	31,02	26,01	34,39	29,25
7	24	10,61	55,87	13,55	58,81	29,94	23,45	33,28	26,62
8	33	10,10	55,35	13,12	58,37	28,99	22,31	32,30	25,45
9	66	9,58	54,84	12,73	57,98	28,12	21,17	31,41	24,28
10	21	8,28	53,54	12,28	57,54	27,14	18,30	30,40	21,34
11	55	8,10	53,35	11,90	57,16	26,30	17,89	29,54	20,92
12	58	7,84	53,10	11,56	56,82	25,55	17,33	28,77	20,34
13	57	7,82	53,08	11,27	56,53	24,91	17,28	28,12	20,29
14	42	7,47	52,73	11,00	56,26	24,31	16,51	27,51	19,51
15	5	7,31	52,56	10,76	56,01	23,77	16,14	26,95	19,13
16	14	7,06	52,32	10,53	55,78	23,26	15,60	26,42	18,57
17	70	7,05	52,30	10,32	55,58	22,80	15,57	25,96	18,54
18	47	6,98	52,23	10,13	55,39	22,39	15,42	25,54	18,38
19	8	6,76	52,02	9,96	55,21	22,00	14,94	25,14	17,89
20	18	5,89	51,14	9,75	55,01	21,55	13,01	24,67	15,91
43	76	-1,13	44,12	5,60	50,86	12,37	-2,50	15,26	0,00
Média Geral = 45,26									

Tabela 5. Ordenamento dos 20 melhores clones e testemunha comercial (32864) por seus valores genotípicos e ganhos genéticos preditos para o caráter Extrativo Total (EXTO, %), na análise conjunta entre os ambientes.

Ordem*	Genótipo	g	u+g	Ganho	Nova Média	Ganho acumulado em relação à média geral (%)	Ganho individual em relação à média geral (%)	Ganho acumulado em relação à média da testemunha (%)	Ganho individual em relação à média da testemunha (%)
82	32	-0,28	2,63	0,00	2,91	0,00	-9,61	-6,49	-15,48
81	17	-0,27	2,65	0,00	2,92	0,12	-9,15	-6,38	-15,05
80	36	-0,24	2,68	0,01	2,92	0,23	-8,09	-6,27	-14,06
79	67	-0,23	2,69	0,01	2,92	0,34	-7,80	-6,17	-13,78
78	21	-0,23	2,69	0,01	2,93	0,44	-7,80	-6,08	-13,78
77	12	-0,22	2,69	0,02	2,93	0,55	-7,50	-5,97	-13,50
76	79	-0,21	2,70	0,02	2,93	0,66	-7,18	-5,88	-13,21
75	54	-0,20	2,71	0,02	2,94	0,76	-6,92	-5,78	-12,96
74	63	-0,18	2,74	0,03	2,94	0,86	-6,01	-5,68	-12,11
73	33	-0,17	2,74	0,03	2,94	0,96	-5,84	-5,59	-11,95
72	19	-0,15	2,77	0,03	2,94	1,05	-5,03	-5,50	-11,19
71	24	-0,14	2,77	0,03	2,95	1,14	-4,96	-5,42	-11,13
70	27	-0,14	2,77	0,04	2,95	1,23	-4,94	-5,34	-11,11
69	55	-0,14	2,77	0,04	2,95	1,32	-4,89	-5,26	-11,06
68	62	-0,14	2,77	0,04	2,95	1,41	-4,77	-5,17	-10,95
67	71	-0,12	2,80	0,04	2,96	1,50	-4,03	-5,09	-10,26
66	69	-0,11	2,80	0,05	2,96	1,58	-3,94	-5,01	-10,18
65	9	-0,11	2,80	0,05	2,96	1,67	-3,94	-4,93	-10,17
64	45	-0,11	2,81	0,05	2,96	1,76	-3,68	-4,85	-9,93
63	58	-0,10	2,81	0,05	2,97	1,84	-3,54	-4,77	-9,80
7	76	0,20	3,12	0,31	3,22	10,66	6,94	3,48	0,00

Média Geral = 2,91

*Ordenamento decrescente, pois o objetivo é reduzir o caráter Extrativo Total (%).

Tabela 6. Ordenamento dos 20 melhores clones e testemunha comercial (32864) por seus valores genotípicos e ganhos genéticos preditos para o caráter Lignina Klason (LGK, %), na análise conjunta entre os ambientes.

Ordem*	Genotipo	g	u+g	Ganho	Nova Média	Ganho acumulado em relação à média geral (%)	Ganho individual em relação à média geral (%)	Ganho acumulado em relação à média da testemunha (%)	Ganho individual em relação à média da testemunha (%)
82	80	-1,96	21,86	0,00	23,82	0,00	-8,25	-11,71	-18,99
81	40	-1,70	22,12	0,02	23,84	0,10	-7,12	-11,62	-18,00
80	15	-1,39	22,43	0,05	23,87	0,19	-5,83	-11,54	-16,86
79	81	-1,15	22,67	0,06	23,88	0,27	-4,84	-11,48	-15,99
78	51	-1,15	22,67	0,08	23,90	0,33	-4,83	-11,42	-15,98
77	33	-1,07	22,75	0,10	23,92	0,40	-4,50	-11,36	-15,69
76	78	-1,03	22,79	0,11	23,93	0,47	-4,33	-11,30	-15,54
75	36	-0,97	22,85	0,13	23,95	0,53	-4,06	-11,25	-15,30
74	39	-0,94	22,88	0,14	23,96	0,59	-3,95	-11,19	-15,21
73	65	-0,94	22,88	0,16	23,98	0,65	-3,93	-11,14	-15,18
72	19	-0,92	22,90	0,17	23,99	0,72	-3,88	-11,08	-15,14
71	42	-0,90	22,92	0,19	24,01	0,78	-3,76	-11,02	-15,04
70	38	-0,86	22,96	0,20	24,02	0,85	-3,62	-10,97	-14,91
69	9	-0,82	23,00	0,22	24,04	0,91	-3,45	-10,91	-14,76
68	46	-0,78	23,04	0,23	24,05	0,98	-3,29	-10,85	-14,62
67	35	-0,76	23,06	0,25	24,07	1,04	-3,19	-10,80	-14,53
66	67	-0,74	23,08	0,26	24,08	1,10	-3,12	-10,74	-14,47
65	11	-0,72	23,10	0,28	24,10	1,17	-3,04	-10,68	-14,40
64	24	-0,72	23,10	0,29	24,11	1,23	-3,02	-10,62	-14,38
63	13	-0,71	23,11	0,31	24,13	1,30	-3,00	-10,56	-14,36
1	76	3,16	26,98	3,16	26,98	13,27	13,27	0,00	0,00
Média Geral = 23,82									

*Ordenamento decrescente, pois o objetivo é reduzir o caráter Lignina Klason (%).

Tabela 7. Ordenamento dos 20 melhores clones e testemunha comercial (32864) por seus valores genotípicos e ganhos genéticos preditos para o caráter Densidade (DB, Kg.m⁻³), na análise conjunta entre os ambientes.

Ordem	Genótipo	g	u+g	Ganho	Nova Média	Ganho acumulado em relação à média geral (%)	Ganho individual em relação à média geral (%)	Ganho acumulado em relação à média da testemunha (%)	Ganho individual em relação à média da testemunha (%)
1	17	25,60	445,78	25,60	445,78	6,09	6,09	10,95	10,95
2	46	21,49	441,67	23,55	443,72	5,60	5,12	10,44	9,93
3	80	19,91	440,09	22,34	442,51	5,32	4,74	10,14	9,54
4	19	18,26	438,43	21,32	441,49	5,07	4,34	9,89	9,12
5	36	16,69	436,87	20,39	440,57	4,85	3,97	9,66	8,74
6	65	15,98	436,15	19,66	439,83	4,68	3,80	9,47	8,56
7	73	15,48	435,65	19,06	439,24	4,54	3,68	9,32	8,43
8	10	14,90	435,08	18,54	438,72	4,41	3,55	9,20	8,29
9	79	14,21	434,38	18,06	438,23	4,30	3,38	9,08	8,12
10	51	13,71	433,88	17,62	437,80	4,19	3,26	8,97	7,99
11	69	13,33	433,50	17,23	437,41	4,10	3,17	8,87	7,90
12	3	12,38	432,55	16,83	437,00	4,01	2,95	8,77	7,66
13	55	12,31	432,48	16,48	436,66	3,92	2,93	8,68	7,64
14	68	11,85	432,03	16,15	436,33	3,84	2,82	8,60	7,53
15	9	11,01	431,19	15,81	435,98	3,76	2,62	8,52	7,32
16	81	9,39	429,56	15,41	435,58	3,67	2,23	8,42	6,92
17	59	9,34	429,51	15,05	435,22	3,58	2,22	8,33	6,91
18	8	8,82	428,99	14,70	434,88	3,50	2,10	8,24	6,78
19	12	8,77	428,95	14,39	434,57	3,42	2,09	8,16	6,76
20	43	8,71	428,88	14,11	434,28	3,36	2,07	8,09	6,75
79	76	-18,41	401,77	0,86	421,03	0,20	-4,38	4,79	0,00
Média Geral = 420,18									

Tabela 8. Ordenamento dos 20 melhores clones e testemunha comercial (32864) por seus valores genotípicos e ganhos genéticos preditos para o caráter Rendimento de Celulose (RCEL, %), na análise conjunta entre os ambientes.

Ordem	Genótipo	g	u+g	Ganho	Nova Média	Ganho acumulado em relação à média geral (%)	Ganho individual em relação à média geral (%)	Ganho acumulado em relação à média da testemunha (%)	Ganho individual em relação à média da testemunha (%)
1	17	1,82	50,88	1,82	50,88	3,72	3,72	7,26	7,26
2	36	1,62	50,67	1,72	50,78	3,51	3,30	7,05	6,83
3	19	0,91	49,96	1,45	50,51	2,96	1,85	6,48	5,33
4	35	0,85	49,90	1,30	50,35	2,65	1,73	6,16	5,21
5	3	0,78	49,83	1,20	50,25	2,44	1,59	5,94	5,06
6	1	0,70	49,76	1,11	50,17	2,27	1,43	5,76	4,89
7	31	0,68	49,74	1,05	50,11	2,14	1,39	5,63	4,86
8	27	0,67	49,73	1,00	50,06	2,05	1,37	5,53	4,83
9	61	0,66	49,71	0,97	50,02	1,97	1,34	5,45	4,81
10	13	0,64	49,70	0,93	49,99	1,90	1,31	5,39	4,78
11	12	0,56	49,62	0,90	49,95	1,83	1,15	5,31	4,60
12	55	0,56	49,61	0,87	49,93	1,78	1,14	5,25	4,59
13	78	0,55	49,60	0,85	49,90	1,73	1,12	5,20	4,57
14	73	0,51	49,57	0,82	49,88	1,68	1,05	5,15	4,50
15	80	0,49	49,54	0,80	49,86	1,63	0,99	5,10	4,44
16	45	0,46	49,52	0,78	49,83	1,59	0,95	5,06	4,40
17	28	0,43	49,48	0,76	49,81	1,55	0,87	5,02	4,32
18	56	0,43	49,48	0,74	49,80	1,51	0,87	4,98	4,32
19	69	0,42	49,48	0,72	49,78	1,48	0,86	4,94	4,30
20	10	0,41	49,46	0,71	49,76	1,44	0,83	4,91	4,27
81	76	-1,62	47,43	0,02	49,08	0,05	-3,30	3,47	0,00
Média Geral = 49,05									

Tabela 9. Ordenamento dos 20 melhores clones e testemunha comercial (32864) por seus valores genotípicos e ganhos genéticos preditos para o caráter Incremento Médio Anual de Celulose em 3,5 anos (IMACel, ton.ha⁻¹.ano⁻¹), na análise conjunta entre os ambientes.

Ordem	Genótipo	g	u+g	Ganho	Nova Média	Ganho acumulado em relação à média geral (%)	Ganho individual em relação à média geral (%)	Ganho acumulado em relação à média da testemunha (%)	Ganho individual em relação à média da testemunha (%)
1	9	3,52	12,72	3,52	12,72	38,31	38,31	43,75	43,75
2	63	3,26	12,46	3,39	12,59	36,89	35,47	42,28	40,81
3	34	3,17	12,37	3,32	12,52	36,10	34,51	41,46	39,80
4	11	3,14	12,34	3,27	12,47	35,61	34,17	40,95	39,45
5	27	3,09	12,29	3,24	12,43	35,22	33,65	40,55	38,91
6	33	2,60	11,79	3,13	12,33	34,05	28,22	39,33	33,27
7	24	2,59	11,79	3,05	12,25	33,22	28,19	38,46	33,24
8	66	2,11	11,30	2,94	12,13	31,93	22,93	37,13	27,77
9	42	2,05	11,24	2,84	12,03	30,85	22,24	36,01	27,05
10	5	1,93	11,13	2,75	11,94	29,87	21,04	34,99	25,81
11	55	1,93	11,12	2,67	11,87	29,06	20,94	34,14	25,70
12	40	1,92	11,11	2,61	11,81	28,38	20,86	33,43	25,62
13	21	1,82	11,01	2,55	11,74	27,72	19,78	32,75	24,50
14	59	1,79	10,99	2,49	11,69	27,13	19,47	32,13	24,17
15	58	1,64	10,84	2,44	11,63	26,51	17,83	31,49	22,47
16	54	1,61	10,81	2,39	11,58	25,95	17,54	30,91	22,17
17	15	1,50	10,70	2,33	11,53	25,38	16,33	30,32	20,91
18	65	1,31	10,50	2,28	11,47	24,76	14,20	29,67	18,70
19	70	1,22	10,42	2,22	11,42	24,16	13,32	29,05	17,78
20	80	1,16	10,35	2,17	11,36	23,58	12,56	28,44	17,00
44	76	-0,35	8,85	1,11	10,31	12,11	-3,79	16,53	0,00
Média Geral = 9,20									

Tabela 10. Média e desvio padrão (\pm) dos valores fenotípicos de cada clone observados em amostras de serragem moídas (M) para os caracteres teor de cinzas (CINZ-M, %), extrativos em água (EXTA-M, %), extrativos totais (EXTO-M, %), lignina Klason (LGK-M, %), lignina total (LGT-M, %), densidade básica (DB-M, kg.m^{-3}), holocelulose (HOLO-M, %) e rendimento de celulose (RCEL-M, %) aos 3,5 anos de idade.

Clone	CINZ-M (%)	EXTA-M (%)	EXTO-M (%)	LGK-M (%)	LGT-M (%)	DB-M (kg.m^{-3})	HOLO-M (%)	RCEL-M (%)
1	0,56 \pm 0,06	2,75 \pm 0,24	3,47 \pm 0,5	25,08 \pm 1,12	28,96 \pm 0,93	376,36 \pm 9,92	69,34 \pm 1,28	50,01 \pm 0,95
2	0,59 \pm 0,09	2,62 \pm 0,2	3,48 \pm 0,47	25,48 \pm 0,65	28,7 \pm 0,73	375,47 \pm 19,04	69,67 \pm 1,26	49,22 \pm 1,06
3	0,5 \pm 0,04	2,5 \pm 0,38	3,98 \pm 0,25	24,76 \pm 0,75	28,68 \pm 0,8	413,71 \pm 5,1	69,21 \pm 0,53	50,64 \pm 0,58
4	0,59 \pm 0,1	2,92 \pm 0,49	4,11 \pm 0,69	25,49 \pm 0,8	29,57 \pm 0,73	385,14 \pm 11,16	67,99 \pm 1,14	48,96 \pm 2,03
5	0,62 \pm 0,08	2,18 \pm 0,32	3,63 \pm 0,4	23,43 \pm 0,58	27,96 \pm 0,29	392,24 \pm 16	71,69 \pm 0,7	50,28 \pm 0,58
6	0,61 \pm 0,05	2,39 \pm 0,37	3,64 \pm 0,27	24,14 \pm 0,56	28,29 \pm 0,39	390,55 \pm 18,68	70,95 \pm 1,02	50,06 \pm 1,02
7	0,58 \pm 0,05	2,68 \pm 0,28	3,96 \pm 0,4	24,63 \pm 0,78	28,85 \pm 0,55	379,12 \pm 13,63	69,53 \pm 1,22	49,02 \pm 0,76
8	0,57 \pm 0,04	2,1 \pm 0,47	3,53 \pm 0,26	23,06 \pm 0,72	27,59 \pm 0,58	412,06 \pm 18,92	72,07 \pm 1,54	50,04 \pm 0,69
9	0,55 \pm 0,05	2,29 \pm 0,36	3,46 \pm 0,29	23,5 \pm 0,57	27,48 \pm 0,24	403,9 \pm 17,05	71,75 \pm 0,75	50,46 \pm 0,57
10	0,54 \pm 0,05	2,27 \pm 0,49	3,59 \pm 0,4	23,62 \pm 0,8	27,62 \pm 0,66	399,68 \pm 24,12	71,62 \pm 1,42	49,94 \pm 1,19
11	0,66 \pm 0,05	2,57 \pm 0,44	3,72 \pm 0,4	23,35 \pm 0,82	27,26 \pm 0,75	382,67 \pm 21,61	71,8 \pm 1,36	49,61 \pm 0,59
12	0,54 \pm 0,06	2,43 \pm 0,48	3,59 \pm 0,28	23,75 \pm 0,87	28,08 \pm 0,71	407,26 \pm 20,86	70,82 \pm 1,7	50,89 \pm 0,73
13	0,54 \pm 0,05	2,72 \pm 0,23	3,67 \pm 0,38	23,71 \pm 0,39	28,01 \pm 0,48	385,85 \pm 9,56	70,27 \pm 0,9	50,68 \pm 1,11
14	0,48 \pm 0,09	2,22 \pm 0,38	3,26 \pm 0,53	24,58 \pm 0,72	28,79 \pm 0,47	397,5 \pm 14,42	70,23 \pm 1,4	50,66 \pm 0,52
15	0,59 \pm 0,06	2,37 \pm 0,37	3,55 \pm 0,34	22,72 \pm 0,94	26,86 \pm 0,54	401,23 \pm 17,95	72,36 \pm 1,45	50,87 \pm 0,41
16	0,61 \pm 0,06	2,75 \pm 0,33	4,17 \pm 0,42	23,85 \pm 0,71	28,8 \pm 0,56	383,72 \pm 11,87	70,11 \pm 1,06	48,8 \pm 0,78
17	0,55 \pm 0,08	2,31 \pm 0,2	3,28 \pm 0,56	23,07 \pm 1,09	27,01 \pm 0,9	422,49 \pm 17,9	71,97 \pm 1,65	52,2 \pm 0,84
18	0,58 \pm 0,04	2,73 \pm 0,25	3,99 \pm 0,38	24,53 \pm 0,7	29,14 \pm 0,53	379,7 \pm 12,54	69,52 \pm 1,09	48,98 \pm 1,1
19	0,53 \pm 0,06	2,4 \pm 0,65	3,87 \pm 0,45	23,01 \pm 0,41	27,52 \pm 0,46	414,92 \pm 23,4	71,73 \pm 1	51,22 \pm 0,82
20	0,59 \pm 0,1	2,91 \pm 0,41	3,78 \pm 0,45	24,09 \pm 0,68	28,47 \pm 0,66	382,86 \pm 19,03	69,78 \pm 1,39	49,47 \pm 0,94
21	0,61 \pm 0,05	2,19 \pm 0,52	3,48 \pm 0,62	24,07 \pm 0,52	28,14 \pm 0,42	390,21 \pm 14,4	71,4 \pm 1,27	50,06 \pm 1,21
22	0,67 \pm 0,08	2,54 \pm 0,3	3,45 \pm 0,39	23,9 \pm 0,59	27,92 \pm 0,65	372,17 \pm 18,61	71,04 \pm 0,86	49,76 \pm 0,63

Clone	CINZ-M (%)	EXTA-M (%)	EXTO-M (%)	LGK-M (%)	LGT-M (%)	DB-M (kg.m ⁻³)	HOLO-M (%)	RCEL-M (%)
23	0,55 ±0,04	2,54 ±0,43	3,73 ±0,23	23,86 ±1,2	28,6 ±0,87	390,72 ±20,67	69,97 ±1,8	49,5 ±0,77
24	0,57 ±0,05	2,21 ±0,59	3,53 ±0,33	22,7 ±0,63	27,33 ±0,42	397,34 ±18,52	72,7 ±1,4	50,86 ±0,42
25	0,61 ±0,07	2,52 ±0,36	3,88 ±0,28	23,96 ±0,5	27,87 ±0,51	383,7 ±11,08	70,82 ±0,64	49,24 ±1,18
26	0,62 ±0,05	2,44 ±0,18	3,7 ±0,24	23,99 ±0,47	28,8 ±0,28	381,89 ±10,46	70,44 ±0,87	49,7 ±0,56
27	0,59 ±0,05	2,14 ±0,47	3,21 ±0,37	23,28 ±0,64	27,45 ±0,42	394,81 ±15,95	72,42 ±1,2	51,18 ±0,58
28	0,55 ±0,07	2,6 ±0,38	3,72 ±0,46	24,86 ±0,6	28,78 ±0,33	369,07 ±12,44	69,6 ±0,69	49,79 ±0,72
29	0,59 ±0,04	2,42 ±0,3	3,66 ±0,3	25,1 ±0,54	29,3 ±0,44	371,18 ±17,23	69,84 ±1,11	49,39 ±0,67
30	0,59 ±0,09	2,78 ±0,3	4,16 ±0,36	23,36 ±0,88	28,09 ±0,65	382,78 ±18,33	70,12 ±1,07	48,99 ±0,46
31	0,6 ±0,06	2,47 ±0,46	3,75 ±0,27	23,58 ±0,66	28,09 ±0,5	386,18 ±16,5	70,98 ±1,39	50,27 ±0,61
32	0,56 ±0,04	2,08 ±0,4	3,12 ±0,49	24,54 ±0,86	28,53 ±0,58	397,33 ±12,75	71,08 ±1,61	50,55 ±1,03
33	0,61 ±0,06	2,36 ±0,14	3,36 ±0,51	23,44 ±0,54	27,55 ±0,41	385,83 ±11,64	71,96 ±1,24	50,36 ±0,8
34	0,67 ±0,09	2,78 ±0,52	3,7 ±0,69	24,18 ±0,84	28,91 ±0,64	373,25 ±9,58	70,22 ±1,99	48,03 ±1,58
35	0,6 ±0,06	2,32 ±0,46	3,64 ±0,2	23,06 ±0,8	27,18 ±0,56	391,6 ±18,17	71,99 ±1,37	50,9 ±0,55
36	0,52 ±0,05	2,08 ±0,35	3,14 ±0,65	23,01 ±0,86	27,3 ±0,68	411,26 ±14,55	72,19 ±1,44	51,63 ±0,41
37	0,73 ±0,07	2,32 ±0,51	3,72 ±0,32	24,05 ±0,61	27,55 ±0,47	370,67 ±20,38	72,38 ±1,26	49,26 ±0,6
38	0,64 ±0,06	2,77 ±0,53	3,99 ±0,33	22,75 ±0,92	27,32 ±0,65	393,85 ±20,19	71,8 ±1,61	48,78 ±0,58
39	0,61 ±0,08	2,63 ±0,48	3,83 ±0,7	23,3 ±0,62	27,77 ±0,5	386,58 ±17,41	71,44 ±1,52	50,07 ±0,99
40	0,57 ±0,04	2,3 ±0,5	3,65 ±0,31	22,75 ±0,54	27,38 ±0,25	394,87 ±12,2	71,91 ±1,29	50,52 ±0,34
41	0,55 ±0,03	2,81 ±0,18	3,76 ±0,45	24,55 ±1,13	28,76 ±1,01	386,34 ±19,79	69,5 ±1,17	49,12 ±1,62
42	0,58 ±0,08	2,36 ±0,4	3,53 ±0,42	23,05 ±0,71	27,48 ±0,83	395,12 ±15,5	71,92 ±1,7	50,27 ±1,15
43	0,55 ±0,08	2,55 ±0,24	3,83 ±0,53	23,89 ±0,78	28,08 ±0,63	393,77 ±14,87	70,61 ±1,17	49,29 ±1
44	0,61 ±0,04	2,76 ±0,37	3,72 ±0,29	24,81 ±0,5	29,27 ±0,52	379,33 ±14,92	68,9 ±0,96	48,86 ±0,81
45	0,65 ±0,06	2,48 ±0,32	3,61 ±0,41	23,74 ±0,92	28,29 ±1,13	391,83 ±19,79	70,95 ±1,6	50,44 ±1,33
46	0,52 ±0,1	2,32 ±0,48	3,62 ±0,48	23,21 ±0,5	27,34 ±0,49	412,21 ±10,44	71,93 ±1,44	50,49 ±1,46
47	0,71 ±0,07	2,78 ±0,35	3,88 ±0,29	24,55 ±0,62	27,88 ±0,46	368,38 ±13,39	71,51 ±1,12	48,73 ±0,5
48	0,56 ±0,05	2,61 ±0,58	3,64 ±0,51	24,15 ±0,44	28,51 ±0,47	397,26 ±23,5	70,42 ±1,28	49,4 ±0,95

Clone	CINZ-M (%)	EXTA-M (%)	EXTO-M (%)	LGK-M (%)	LGT-M (%)	DB-M (kg.m ⁻³)	HOLO-M (%)	RCEL-M (%)
49	0,61 ±0,05	2,57 ±0,28	3,71 ±0,3	24,27 ±0,34	28,26 ±0,26	378,94 ±12,75	70,4 ±0,36	49,86 ±0,83
50	0,59 ±0,09	2,47 ±0,31	3,5 ±0,24	24,25 ±0,75	28,99 ±0,48	390,11 ±14,44	70,53 ±1,04	49,78 ±0,85
51	0,57 ±0,07	2,4 ±0,4	3,9 ±0,26	22,57 ±0,56	26,95 ±0,41	403,08 ±11,19	72,29 ±0,9	49,95 ±1,02
52	0,58 ±0,06	2,35 ±0,35	3,39 ±0,59	24,6 ±0,67	28,63 ±0,48	386,21 ±17,03	70,19 ±1,35	50,04 ±0,9
53	0,64 ±0,02	2,84 ±0,52	3,66 ±0,69	24,29 ±0,75	28,73 ±0,53	375,65 ±12,09	70,06 ±1,49	49,31 ±0,77
54	0,61 ±0,05	2,28 ±0,53	3,47 ±0,28	23,94 ±0,79	28,38 ±0,63	394,31 ±20,25	71,12 ±1,54	50,4 ±0,52
55	0,56 ±0,03	2,29 ±0,2	3,39 ±0,38	23,85 ±0,4	27,8 ±0,3	402,84 ±12,04	71,27 ±0,73	50,61 ±0,89
56	0,56 ±0,05	2,37 ±0,36	3,59 ±0,28	24,41 ±0,53	28,99 ±0,48	388,12 ±13,54	69,84 ±1,24	50,11 ±0,59
57	0,6 ±0,07	2,51 ±0,27	3,55 ±0,42	24,31 ±0,41	28,95 ±0,38	380,68 ±12,47	70,31 ±1,04	49,23 ±0,7
58	0,58 ±0,06	2,49 ±0,41	3,68 ±0,27	23,67 ±0,58	28,19 ±0,52	394,34 ±19,04	71,08 ±1,37	49,64 ±0,68
59	0,57 ±0,05	2,34 ±0,58	3,77 ±0,44	23,31 ±0,75	27,78 ±0,52	397,43 ±23,58	71,5 ±1,73	49,62 ±0,8
60	0,62 ±0,07	2,5 ±0,4	3,72 ±0,39	23,77 ±0,73	28,17 ±0,59	382,11 ±15	70,78 ±1	49,93 ±0,87
61	0,54 ±0,06	2,47 ±0,37	3,69 ±0,36	23,8 ±0,61	28,26 ±0,44	398,34 ±12,79	70,62 ±0,96	50,29 ±1,13
62	0,59 ±0,06	2,25 ±0,5	3,32 ±0,39	24,18 ±0,49	28,09 ±0,39	386,69 ±19,65	71,13 ±1,14	49,75 ±1,05
63	0,58 ±0,07	2,4 ±0,45	3,41 ±0,41	24,44 ±0,9	28,53 ±0,63	391,56 ±22,72	70,94 ±1,47	50,33 ±0,54
64	0,57 ±0,04	2,45 ±0,48	3,89 ±0,37	24 ±0,67	28,7 ±0,82	398,13 ±20,91	70,15 ±1,64	49,08 ±1,29
65	0,57 ±0,08	2,09 ±0,41	3,54 ±0,47	22,68 ±0,51	27,1 ±0,37	413,61 ±13,89	72,77 ±1,24	51,01 ±0,63
66	0,55 ±0,06	2,39 ±0,4	3,54 ±0,41	24,02 ±0,69	28,33 ±0,43	395,56 ±15,42	71,11 ±1,16	49,75 ±0,49
67	0,59 ±0,04	2,42 ±0,65	3,68 ±0,34	22,84 ±0,97	27,24 ±0,77	395,14 ±25,79	71,75 ±2,19	50,31 ±0,8
68	0,53 ±0,07	2,28 ±0,43	3,22 ±0,43	23,25 ±0,56	27,53 ±0,33	405,41 ±10,28	72,15 ±1,21	50,6 ±0,93
69	0,54 ±0,07	2,27 ±0,42	3,57 ±0,26	23,7 ±0,49	27,93 ±0,52	408,45 ±12,72	71,14 ±1,1	50,63 ±0,91
70	0,62 ±0,05	2,35 ±0,38	3,59 ±0,24	23,44 ±0,48	27,5 ±0,44	395,99 ±14,98	71,8 ±1,12	50,47 ±0,56
71	0,62 ±0,05	2,54 ±0,18	3,56 ±0,27	24,92 ±0,56	29,16 ±0,29	376,48 ±15,62	69,9 ±0,84	49,98 ±0,32
72	0,61 ±0,03	3,05 ±0,31	4,4 ±0,3	24,12 ±0,63	29,16 ±0,48	384,96 ±12,23	69,22 ±1,31	48,96 ±0,5
73	0,55 ±0,08	2,51 ±0,5	3,83 ±0,31	23,13 ±0,68	27,61 ±0,43	414,65 ±17,69	71,72 ±1,24	50,72 ±0,61
74	0,66 ±0,06	2,48 ±0,35	3,6 ±0,33	23,71 ±0,63	28,16 ±0,5	385,68 ±19,84	70,76 ±1,05	50,62 ±0,62

Clone	CINZ-M (%)	EXTA-M (%)	EXTO-M (%)	LGK-M (%)	LGT-M (%)	DB-M (kg.m³)	HOLO-M (%)	RCEL-M (%)
75	0,59 ±0,04	2,56 ±0,36	3,9 ±0,76	23,43 ±0,73	28 ±0,61	391,69 ±15,2	70,92 ±1,41	49,16 ±1,06
77	0,44 ±0,05	2,19 ±0,36	3,48 ±0,37	26,76 ±0,75	30,49 ±0,65	407,21 ±21,39	68,22 ±1,37	49,69 ±1,19
78	0,54 ±0,06	2,76 ±0,22	4,13 ±0,35	24,19 ±0,76	28,9 ±0,9	379,12 ±9,23	69,47 ±1,12	49,1 ±1,31
79	0,42 ±0,14	2,54 ±0,77	3,72 ±0,74	27,02 ±0,77	30,44 ±0,82	407,15 ±6,18	66,94 ±2,01	49,58 ±2,05
80	0,59 ±0,07	2,42 ±0,46	3,75 ±0,52	22,2 ±0,97	26,18 ±0,78	414,6 ±15,13	72,82 ±2	51,08 ±1
81	0,6 ±0,05	2,1 ±0,34	3,67 ±0,36	23,2 ±0,79	27,92 ±0,46	403,06 ±18,13	71,79 ±0,8	50,37 ±0,34
82	0,56 ±0,06	2,59 ±0,32	3,78 ±0,27	24,55 ±0,53	29,1 ±0,51	394,57 ±15,76	69,52 ±0,68	49,65 ±0,57

Tabela 11. Média e desvio padrão (\pm) dos valores fenotípicos de cada clone observados em amostras de serragem sem moer (S) para os caracteres teor de cinzas (CINZ-S, %), extrativos em água (EXTA-S, %), extrativos totais (EXTO-S, %), lignina Klason (LGK-S, %), lignina total (LGT-S, %), densidade básica (DB-S, kg.m^{-3}), holocelulose (HOLO, %) e rendimento de celulose (RCEL-S, %) aos 3,5 anos de idade.

Clone	CINZ-S (%)	EXTA-S (%)	EXTO-S (%)	LGK-S (%)	LGT-S (%)	DB-S (kg.m^{-3})	HOLO-S (%)	RCEL-S (%)
1	0,65 \pm 0,06	2,89 \pm 0,19	3,25 \pm 0,42	27,95 \pm 1,07	30,08 \pm 0,92	363,32 \pm 8,64	66,55 \pm 1,13	48,8 \pm 1,28
2	0,70 \pm 0,09	2,74 \pm 0,32	2,99 \pm 0,39	28,56 \pm 0,99	30,01 \pm 0,98	371,01 \pm 16,57	67,07 \pm 1,64	47,71 \pm 1,18
3	0,58 \pm 0,04	2,62 \pm 0,22	3,7 \pm 0,35	27,95 \pm 0,71	29,76 \pm 0,74	424,69 \pm 30,41	66,98 \pm 0,62	48,53 \pm 0,46
4	0,71 \pm 0,07	3,04 \pm 0,34	3,58 \pm 0,45	28,12 \pm 0,59	30,48 \pm 0,8	398,4 \pm 25,2	65,53 \pm 0,91	47,55 \pm 1,81
5	0,82 \pm 0,05	2,33 \pm 0,25	3,01 \pm 0,4	26,4 \pm 0,7	28,98 \pm 0,43	385,26 \pm 14,86	69,36 \pm 0,57	49,13 \pm 0,61
6	0,78 \pm 0,09	2,37 \pm 0,46	3,28 \pm 0,49	26,5 \pm 0,82	28,96 \pm 0,63	405,44 \pm 34,23	68,96 \pm 0,78	48,69 \pm 0,65
7	0,69 \pm 0,09	2,72 \pm 0,28	3,6 \pm 0,46	26,82 \pm 0,7	29,52 \pm 0,5	400,35 \pm 15,19	67,53 \pm 1,15	47,71 \pm 0,98
8	0,70 \pm 0,05	2,28 \pm 0,4	3,14 \pm 0,4	26,03 \pm 0,51	28,63 \pm 0,5	414,6 \pm 21,48	68,93 \pm 0,93	48,6 \pm 0,95
9	0,74 \pm 0,09	2,43 \pm 0,22	3,02 \pm 0,45	26,39 \pm 0,21	28,64 \pm 0,36	402,83 \pm 18,45	68,33 \pm 0,92	49,23 \pm 0,91
10	0,72 \pm 0,07	2,5 \pm 0,37	3,19 \pm 0,43	26,97 \pm 0,64	28,9 \pm 0,65	389,07 \pm 19,99	68,46 \pm 0,96	48,76 \pm 1,17
11	0,83 \pm 0,06	2,67 \pm 0,39	3,31 \pm 0,42	26,16 \pm 0,73	28,24 \pm 0,61	382,02 \pm 13,73	69,16 \pm 0,93	48,45 \pm 0,64
12	0,69 \pm 0,10	2,22 \pm 0,26	2,92 \pm 0,49	26,45 \pm 0,84	28,83 \pm 0,81	414,35 \pm 26,47	68,66 \pm 1,3	49,64 \pm 1,05
13	0,64 \pm 0,06	2,72 \pm 0,43	3,25 \pm 0,38	26,42 \pm 0,61	29,02 \pm 0,66	391,62 \pm 12,85	68,03 \pm 1,15	49,09 \pm 1,06
14	0,62 \pm 0,09	2,45 \pm 0,31	2,98 \pm 0,67	27,87 \pm 0,62	29,96 \pm 0,48	396,09 \pm 23,04	67,19 \pm 0,84	49,19 \pm 0,64
15	0,74 \pm 0,09	2,48 \pm 0,16	3,04 \pm 0,45	25,37 \pm 0,73	27,55 \pm 0,35	409,96 \pm 21,45	70,36 \pm 0,76	49,97 \pm 0,77
16	0,74 \pm 0,06	2,88 \pm 0,35	3,74 \pm 0,52	25,99 \pm 0,83	29,53 \pm 0,77	401,81 \pm 17,7	68,01 \pm 1,01	47,45 \pm 1,06
17	0,65 \pm 0,08	2,19 \pm 0,59	2,88 \pm 0,64	25,62 \pm 0,5	27,77 \pm 0,47	423,57 \pm 20,2	69,72 \pm 0,76	50,7 \pm 0,83
18	0,70 \pm 0,09	2,77 \pm 0,45	3,39 \pm 0,52	27,18 \pm 1,14	30,19 \pm 0,92	394,9 \pm 26,72	66,84 \pm 1,71	47,34 \pm 1,63
19	0,68 \pm 0,07	2,48 \pm 0,57	3,43 \pm 0,42	26,12 \pm 0,48	28,78 \pm 0,62	411,78 \pm 22,19	68,82 \pm 1,16	49,37 \pm 1,02
20	0,69 \pm 0,12	2,95 \pm 0,33	3,52 \pm 0,69	25,96 \pm 1,03	29,13 \pm 0,66	405,29 \pm 24,62	67,74 \pm 0,96	47,86 \pm 1
21	0,78 \pm 0,07	2,17 \pm 0,37	2,84 \pm 0,3	27,1 \pm 0,29	29,16 \pm 0,38	382,62 \pm 17,88	68,88 \pm 0,78	49,02 \pm 0,82
22	0,76 \pm 0,06	2,54 \pm 0,25	2,93 \pm 0,4	26,07 \pm 0,75	28,57 \pm 0,7	383,27 \pm 18,14	68,91 \pm 0,73	48,61 \pm 0,66

Clone	CINZ-S (%)	EXTA-S (%)	EXTO-S (%)	LGK-S (%)	LGT-S (%)	DB-S (kg.m ⁻³)	HOLO-S (%)	RCEL-S (%)
23	0,66 ±0,07	2,6 ±0,61	3,4 ±0,47	26,45 ±0,79	29,7 ±0,86	387,86 ±15,81	67,53 ±1,34	48,07 ±1,28
24	0,75 ±0,05	2,41 ±0,36	3,2 ±0,46	25,75 ±0,7	28,73 ±0,46	379,44 ±15,26	69,31 ±0,57	49,16 ±0,9
25	0,74 ±0,07	2,56 ±0,5	3,44 ±0,68	26,62 ±0,84	28,68 ±0,8	389,84 ±19,09	68,48 ±1,02	48,13 ±1,38
26	0,75 ±0,10	2,4 ±0,25	3,2 ±0,47	26,2 ±0,69	29,43 ±0,46	392,89 ±10,21	68,52 ±1,13	48,57 ±0,97
27	0,79 ±0,06	2,17 ±0,32	2,35 ±0,45	26,49 ±0,42	28,65 ±0,42	384,83 ±18,08	69,89 ±0,4	49,95 ±0,69
28	0,66 ±0,07	2,54 ±0,34	3,2 ±0,46	27,33 ±0,77	29,39 ±0,5	387 ±21,37	67,62 ±0,42	48,7 ±0,51
29	0,73 ±0,06	2,51 ±0,26	3,14 ±0,31	28,01 ±0,4	30,42 ±0,4	371,88 ±13,6	67,33 ±0,66	48,23 ±0,47
30	0,72 ±0,07	2,94 ±0,25	3,96 ±0,51	25,61 ±0,94	28,89 ±0,7	392,45 ±21,63	67,87 ±1,03	47,62 ±0,88
31	0,75 ±0,06	2,43 ±0,46	3,3 ±0,54	25,99 ±1,16	28,81 ±1,11	387,07 ±28,48	69,04 ±1,19	48,66 ±0,99
32	0,65 ±0,04	2,29 ±0,31	2,76 ±0,32	27,53 ±0,76	29,45 ±0,51	395,29 ±16,09	67,93 ±1,01	49,56 ±0,99
33	0,78 ±0,05	2,25 ±0,26	2,69 ±0,44	26,31 ±0,6	28,47 ±0,48	387,7 ±18,91	69,82 ±0,84	49,2 ±0,66
34	0,83 ±0,11	3,01 ±0,36	2,91 ±0,57	26,73 ±0,52	29,93 ±0,37	395,5 ±33,45	67,73 ±0,85	46,41 ±1,34
35	0,71 ±0,05	2,38 ±0,3	3,31 ±0,36	25,72 ±0,4	27,99 ±0,3	394,4 ±11,84	69,47 ±0,57	49,82 ±0,68
36	0,68 ±0,06	2,11 ±0,29	2,35 ±0,49	26,11 ±0,66	28,43 ±0,54	400,85 ±20,17	69,86 ±0,86	50,19 ±0,84
37	0,84 ±0,1	2,51 ±0,38	3,37 ±0,33	26,66 ±0,66	28,44 ±0,65	378,81 ±23,34	69,94 ±0,87	47,9 ±0,5
38	0,71 ±0,06	2,74 ±0,35	3,38 ±0,47	25,13 ±0,53	28,01 ±0,37	400,35 ±16,06	69,27 ±0,7	47,86 ±0,78
39	0,74 ±0,08	2,88 ±0,4	3,56 ±0,33	25,75 ±0,71	28,7 ±0,87	393,27 ±15,84	68,95 ±1,19	48,69 ±1,6
40	0,73 ±0,08	2,37 ±0,24	3,09 ±0,39	25,48 ±0,63	28,26 ±0,41	393,8 ±12,84	69,48 ±0,74	49,53 ±0,43
41	0,76 ±0,06	2,84 ±0,39	2,92 ±0,41	27,21 ±1,46	29,89 ±1,51	386,51 ±34,09	67,07 ±1,97	47,92 ±1,68
42	0,75 ±0,07	2,35 ±0,49	3,06 ±0,59	25,88 ±0,77	28,43 ±0,87	396,11 ±21,36	69,23 ±1,02	49,08 ±1,53
43	0,69 ±0,11	2,74 ±0,43	3,32 ±0,59	27,18 ±0,98	29,47 ±0,93	389,46 ±23,25	67,66 ±1,72	47,56 ±1,36
44	0,7 ±0,08	2,98 ±0,31	3,55 ±0,4	27,18 ±0,6	30,09 ±0,68	389,66 ±14,42	66,54 ±0,88	47,67 ±0,89
45	0,78 ±0,06	2,51 ±0,36	3,27 ±0,35	26,23 ±1,12	29 ±1,43	402,11 ±30,54	68,76 ±1,68	49,43 ±1,24
46	0,67 ±0,11	2,31 ±0,56	3,11 ±0,49	26,12 ±0,9	28,39 ±0,77	408,97 ±15,38	69,19 ±1,44	49,07 ±2,12
47	0,82 ±0,1	3,01 ±0,33	3,84 ±0,52	26,71 ±0,81	28,47 ±0,49	395,57 ±17,7	69,38 ±0,86	47,15 ±0,63
48	0,65 ±0,09	2,65 ±0,38	3,3 ±0,56	26,79 ±0,91	29,47 ±0,94	407,16 ±20,51	67,53 ±1,37	47,65 ±1,4

Clone	CINZ-S (%)	EXTA-S (%)	EXTO-S (%)	LGK-S (%)	LGT-S (%)	DB-S (kg.m ⁻³)	HOLO-S (%)	RCEL-S (%)
49	0,80 ±0,10	2,57 ±0,34	3,39 ±0,34	27,03 ±0,49	29,24 ±0,51	376 ±26,15	68,29 ±0,99	48,7 ±0,78
50	0,72 ±0,05	2,56 ±0,5	3,03 ±0,38	27,23 ±0,6	30 ±0,59	393,97 ±12,05	68 ±1,14	48,52 ±1,1
51	0,73 ±0,09	2,57 ±0,4	3,4 ±0,48	25,28 ±1	28,08 ±0,85	399,96 ±22,09	69,53 ±1,12	48,36 ±1,56
52	0,70 ±0,08	2,39 ±0,25	2,84 ±0,49	27,44 ±0,62	29,55 ±0,48	386,95 ±18,92	67,82 ±0,98	49,07 ±1,05
53	0,73 ±0,06	2,86 ±0,43	3,03 ±0,75	26,83 ±0,85	29,67 ±0,73	383,76 ±8,75	67,56 ±1,12	48,25 ±1,05
54	0,75 ±0,04	2,31 ±0,35	2,98 ±0,35	26,55 ±0,47	29,1 ±0,47	401,91 ±26,4	68,61 ±0,58	49,29 ±0,85
55	0,68 ±0,05	2,28 ±0,31	2,88 ±0,35	26,8 ±0,52	28,83 ±0,5	394,91 ±19,01	69,02 ±0,78	49,51 ±0,76
56	0,67 ±0,07	2,43 ±0,42	3,23 ±0,59	26,86 ±0,47	29,73 ±0,38	398,36 ±20,93	67,47 ±0,97	48,78 ±0,8
57	0,74 ±0,07	2,57 ±0,26	3,19 ±0,47	26,78 ±0,48	29,75 ±0,5	388,84 ±14,96	68,06 ±0,55	48,02 ±0,89
58	0,76 ±0,08	2,4 ±0,38	2,9 ±0,41	26,71 ±0,75	29,37 ±0,69	391,84 ±22,44	68,64 ±0,65	48,08 ±1,65
59	0,68 ±0,03	2,38 ±0,26	3,42 ±0,43	26,16 ±0,66	28,84 ±0,4	398,75 ±16,58	68,3 ±0,9	48,09 ±0,87
60	0,75 ±0,06	2,55 ±0,31	3,49 ±0,26	25,93 ±0,88	28,82 ±0,62	394,85 ±14,64	68,66 ±0,72	48,5 ±0,83
61	0,69 ±0,04	2,5 ±0,42	3,29 ±0,45	26,27 ±0,71	29,19 ±0,7	394,83 ±19,4	68,15 ±1,23	48,68 ±1,15
62	0,69 ±0,07	2,15 ±0,33	3,02 ±0,61	26,64 ±0,63	28,91 ±0,49	384,47 ±19,72	69,04 ±1,27	48,65 ±0,9
63	0,75 ±0,08	2,48 ±0,34	3,06 ±0,33	27,64 ±0,69	29,72 ±0,35	382,98 ±18,23	68,1 ±0,58	48,73 ±0,62
64	0,69 ±0,05	2,69 ±0,47	3,51 ±0,47	26,56 ±0,54	29,61 ±0,81	410,29 ±16,48	67,45 ±1,51	47,77 ±1,41
65	0,74 ±0,06	2,37 ±0,25	3,13 ±0,47	25,83 ±0,36	28,22 ±0,29	400,78 ±13,89	69,75 ±0,7	49,75 ±0,9
66	0,70 ±0,1	2,54 ±0,4	3,04 ±0,61	27,04 ±0,96	29,42 ±0,61	399,03 ±23,06	68,36 ±1,01	48,22 ±0,93
67	0,71 ±0,05	2,54 ±0,44	3,34 ±0,4	25,54 ±0,58	28,21 ±0,68	395,63 ±17,1	69,06 ±1,2	48,94 ±1,27
68	0,74 ±0,06	2,4 ±0,46	2,62 ±0,6	26,7 ±0,39	28,77 ±0,44	392,16 ±12,22	69,24 ±1,1	49,57 ±1,48
69	0,66 ±0,08	2,45 ±0,21	3,27 ±0,41	26,57 ±0,79	28,94 ±0,81	404,24 ±15,91	68,62 ±1,47	49,22 ±1,24
70	0,79 ±0,06	2,45 ±0,32	3,08 ±0,55	26,35 ±0,75	28,42 ±0,55	396,67 ±17,5	69,09 ±0,72	49,25 ±1,26
71	0,76 ±0,08	2,34 ±0,44	2,94 ±0,36	27,51 ±0,81	29,93 ±0,73	387,91 ±26,5	67,9 ±1,09	48,72 ±0,7
72	0,76 ±0,02	3,22 ±0,37	4 ±0,19	26,76 ±0,62	30,13 ±0,47	395,82 ±16,83	66,61 ±0,77	47,1 ±1,09
73	0,69 ±0,1	2,85 ±0,46	3,65 ±0,39	26,25 ±0,61	28,96 ±0,44	406,73 ±11,21	68,49 ±0,66	49,2 ±0,77
74	0,78 ±0,08	2,59 ±0,27	3,27 ±0,42	25,82 ±0,55	28,64 ±0,55	407,72 ±25,15	68,83 ±0,34	49,48 ±0,65

Clone	CINZ-S (%)	EXTA-S (%)	EXTO-S (%)	LGK-S (%)	LGT-S (%)	DB-S (kg.m⁻³)	HOLO-S (%)	RCEL-S (%)
75	0,73 ±0,11	2,72 ±0,68	3,39 ±0,84	26,46 ±0,88	29,28 ±1,01	389,41 ±13,01	67,9 ±1,98	47,54 ±1,82
77	0,55 ±0,09	2,44 ±0,37	3,36 ±0,42	30,09 ±0,88	31,84 ±0,87	406,45 ±26,96	64,72 ±1,47	47,62 ±1,26
78	0,69 ±0,06	2,82 ±0,46	3,49 ±0,55	26,89 ±1,11	29,94 ±1,28	386,7 ±21,65	67,08 ±1,85	47,2 ±1,55
79	0,5 ±0,16	2,76 ±0,82	3,54 ±0,67	30,43 ±1,86	31,76 ±1,78	417,07 ±28,94	63,34 ±3,8	48,08 ±3,22
80	0,69 ±0,08	2,61 ±0,45	3,4 ±0,5	25,36 ±0,65	27,44 ±0,81	404,14 ±16,07	69,61 ±1,38	49,39 ±1,34
81	0,69 ±0,09	2,22 ±0,34	3,24 ±0,52	25,56 ±1,28	28,47 ±0,76	419,14 ±15,07	69,3 ±0,86	49,31 ±0,78
82	0,69 ±0,07	2,66 ±0,33	3,18 ±0,56	27,22 ±0,51	30,14 ±0,64	405,48 ±21,43	66,99 ±0,86	47,91 ±1