

ALEXANDRE GOMES FERRAZ

**ORGANIZAÇÃO DA DIVERSIDADE GENÉTICA EM *Eucalyptus benthamii* COM
BASE EM CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E TECNOLÓGICAS DA
MADEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

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

T

F381o Ferraz, Alexandre Gomes, 1993-
2019 Organização da diversidade genética em *Eucalyptus
benthamii* com base em características de crescimento e
tecnológicas da madeira / Alexandre Gomes Ferraz. – Viçosa,
MG, 2019.
x, 73 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Carlos Eduardo Magalhães dos Santos.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 65-73.

1. Eucalipto - Melhoramento genético. 2. Mapas
auto-organizados. 3. Diversidade genética. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de
Pós-Graduação em Genética e Melhoramento. II. Título.

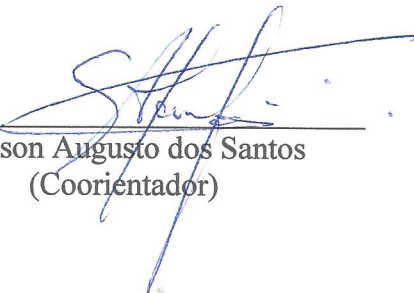
CDD 22. ed. 634.973766

ALEXANDRE GOMES FERRAZ

**ORGANIZAÇÃO DA DIVERSIDADE GENÉTICA EM *Eucalyptus benthamii* COM
BASE EM CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E TECNOLÓGICAS DA
MADEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 15 de fevereiro de 2019.



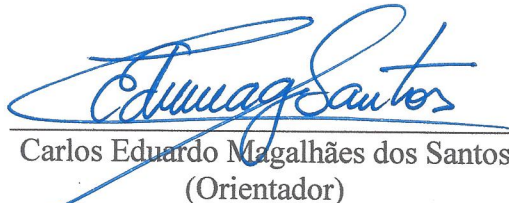
Glêison Augusto dos Santos
(Coorientador)



Cosme Damião Cruz
(Coorientador)



Isabela de Castro Sant'anna



Carlos Eduardo Magalhães dos Santos
(Orientador)

A Deus,
Luz em meu caminho

OFEREÇO

Aos meus avós, Faustino de Souza Ferraz e Terezinha Vieira de Souza Ferraz, à minha irmã Mariana Cristina Gomes de Souza e meu padrinho Gilmar Vieira de Souza, minha prima Diana Aparecida Ferraz e meu padrinho Júlio Cezar Bolandini pelo incondicional apoio durante toda a minha vida.

DEDICO

AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço a Deus, pois sem ele não teria enfrentado todos os desafios para chegar até aqui.

Aos meus avós Faustino e Terezinha pela criação, pelo apoio incondicional e pela compreensão.

À minha irmã Mariana, meu padrinho Balú, à minha prima-irmã Diana e meu padrinho Juninho e aos agregados por estarem perto sendo meu porto seguro durante toda minha jornada.

Aos meus pais Eliana e Ulisses que apesar de tudo me ajudam sempre que podem e a todos familiares que torcem pelo meu sucesso.

Às minhas irmãs Luisa e Laís pelo companheirismo e amizade.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de cursar a graduação.

Ao CNPq, FAPEMIG E CAPES pelo apoio financeiro durante a realização destes trabalhos.

Ao BIOAGRO e a todos os funcionários que me ajudaram de alguma forma.

Ao Professor Cosme Damião Cruz, pelo conhecimento transmitido, pelo companheirismo, pela paciência e por fazer do laboratório o melhor ambiente para se trabalhar. Além de ser um exemplo que profissional dedicado e humilde.

Ao Professor Glêison e ao grupo GenMFlor pelas grandes ideias, pelo companheirismo, pelo suporte, pelos dados da dissertação. Por todo o conhecimento técnico e viagens. Sem o apoio de vocês seria impossível a realização dessa dissertação.

Aos amigos que fiz durante todo este período, em especial aos amigos do Laboratório de Bioinformática e LICAE: Vinicius, Ivan, Iara, Juninho, Isabella, Laís, Luciano, Dayana, Renato, Luíza, Haroldo, Gabi, Ricardo, João Filipe, Marciane, Wender, Francyse, Cristiano, Cezar Pedro e Rafael pelo apoio, paciência e pela amizade.

Aos meus grandes amigos Filipe Manoel, Rodrigo Vieira, Luana Cardoso, Guilherme Mendes, Carla Castro, Michelle Brandão, Caio Varonill, Thales, Felipe Procópio, Samuel Dutra, Jéssica Valente, Vinicius Lima, Romulo Castro, Jaciara, Jamille e Lauana.

Aos amigos da Engenharia Civil Nakata, Matheus, Doug, Erick, Tarcísio, Yohanna, Raíra e Letícia por todos os momentos incríveis.

Aos amigos que o mestradou me deu: Iana, Leo Risso, Lorito, Michel, Zina, Maikon, Lorena, Maiara, Lucas e Adriel pela troca de conhecimento e pelo suporte.

Aos amigos de república Marquinhos, Hiago, Ronam, Itamar, Leonardo e Mateus.

Aos amigos do intercâmbio em Toronto no Canadá. Muito obrigado pelos melhores momentos da graduação.

Aos moradores da república 1921 que foram minha família durante minha graduação.

A todos aqueles que colaboraram de alguma forma, pelo incentivo, compreensão e amizade.

MUITO OBRIGADO!

BIOAGRAFIA

ALEXANDRE GOMES FERRAZ, filho de Eliana Aparecida Gomes e Ulisses Ferraz, nasceu em 18 de Janeiro de 1993, em Visconde do Rio Branco, no estado Minas Gerais.

Concluiu o Ensino Fundamental e o Ensino Médio no Colégio Municipal Rio Branco.

Ingressou na Universidade Federal de Viçosa – MG, no curso de Engenharia Florestal no ano de 2011, onde obteve o título em Janeiro de 2017.

Em março de 2017, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Genética e Melhoramento na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de dissertação em fevereiro de 2019.

SUMÁRIO

RESUMO -----	vii
ABSTRACT -----	ix
1. Introdução Geral -----	1
2. Revisão de Literatura -----	3
2.1. <i>Eucalyptus benthammi</i> -----	3
2.2. Potencial de população com base características de crescimento e tecnológicas da madeira -----	6
2.3. Padrão de similaridade e organização da diversidade genética -----	9
2.4. Associação entre características -----	13
3. Material e Métodos -----	16
3.1. Materiais e mensurações de características -----	16
3.2. Avaliação do potencial da população -----	19
3.3. Estudo de associação entre características -----	20
3.4. Análise do desempenho de acessos de uma população -----	21
3.5. Estudo e organização da diversidade genética -----	23
4. Resultados e Discussão -----	26
4.1. Potencial da população de eucalipto com base em características silviculturais e tecnológicas da madeira -----	26
4.2. Associação entre características silviculturais e tecnológicas da madeira	34
4.3. Desempenho de acessos de uma população de <i>Eucalyptus</i> . -----	41
4.4. Diversidade genética entre indivíduos em uma população de eucalipto --	46
4.5. Organização da diversidade genética entre indivíduos em uma população de eucalipto -----	55
5. Conclusões -----	64
6. Referências Bibliográficas -----	65

RESUMO

FERRAZ, Alexandre Gomes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Organização da diversidade genética em *Eucalyptus benthamii* com base em características de crescimento e tecnológicas da madeira.** Orientador: Carlos Eduardo Magalhães dos Santos. Coorientadores: Cosme Damião Cruz e Glêison Augusto dos Santos.

O conhecimento do potencial de uma população, a associação das características a serem melhoradas, o desempenho dos acessos, além de estudos da variabilidade e a organização as diversidade são aspectos de grande importância no melhoramento genético nas etapas iniciais orientando estratégias de seleção e predizendo o sucesso que poderá ocorrer pelo emprego dos esforços de tempo, mão-de-obra e recursos financeiros em técnicas seletivas. Não há na literatura nenhum trabalho que buscou estudar e associar características de crescimento e tecnológicas da madeira de *Eucalyptus benthamii*. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade fenotípica de uma população de *E. benthamii* para adequação de estudos de características tecnológicas e de crescimento da madeira através das técnicas multivariadas e de inteligência computacional em um conjunto de indivíduos selecionados por critério industriais da madeira. O material genético utilizado é proveniente de um teste de progênies de *E. benthamii*, em plantio comercial de quatro anos de idade de propriedade da empresa CMPC Celulose Riograndense, localizado no município de Encruzilhada do Sul, no estado do Rio Grande do Sul. As propriedades que expressam a qualidade da madeira e caracterização silvicultural foram convencionalmente determinadas para as 87 amostras de madeira e foram analisadas no Centro I+D da CMPC Celulose S.A., na planta de Santa Fé, na cidade de Nascimento, Chile. Utilizou-se o Software GENES versão 2018, com interface com o MATLAB, para realizar todas as análises citadas. A população de *E. benthamii* em estudo apresenta bom potencial para ser explorado por meio de técnicas seletivas tendo em vista às testemunhas utilizadas, considerando as estatísticas descritivas como o patamar médio favorável atingido para as características estudadas e a variabilidade apresentada em termos de amplitude de variação. Na associação entre características da madeira a rede de correlações permitiu, além de facilitar a visualização das correlações entre as características individualmente, entender as correlações dentro e entre os grupos. Pela técnica de análise de fatores possibilitou a formação de complexos de caracteres que possibilitaram a identificação de acessos que se destacavam de acordo com o desejado pela indústria. Através do estudo da diversidade da população foi possível agrupar os indivíduos de acordo com o conjunto de característica. Além de identificar a importância das características quanto a sua contribuição

para a variação total da população em estudo. A técnica de SOM (mapa auto-organizáveis de Kohonen) foi eficiente de identificar padrões de similaridade nos dois conjuntos de características estudados.

ABSTRACT

FERRAZ, Alexandre Gomes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Organization of genetic diversity in *Eucalyptus benthamii* based on growth and technological characteristics of wood.** Adviser: Carlos Eduardo Magalhães dos Santos. Co-Advisers: Cosme Damião Cruz and Glêison Augusto dos Santos.

The knowledge of the potential of a population, the association of the characteristics to be improved, the performance of the accesses, besides studies of the variability and the organization of the diversity are aspects of great importance in the genetic improvement in the initial stages guiding strategies of selection and predicting the success which may occur through the use of time, labor and financial resources in selective techniques. There is no work in literature that sought to study and associate growth and technological characteristics of *Eucalyptus benthamii* wood. Thus, the objective of this work was to evaluate the phenotypic variability of a population of *E. benthamii* for adequacy of studies of technological characteristics and growth of the wood through multivariate techniques and computational intelligence in a set of individuals selected by industrial criteria of wood. The genetic material used comes from a test of progenies of *E. benthamii*, in a four-year-old commercial plantation owned by CMPC Celulose Riograndense, located in the city of Encruzilhada do Sul, in the state of Rio Grande do Sul. The properties that express the wood quality and silvicultural characterization were conventionally determined for the 87 wood samples and were analyzed at the CMPC Celulose S.A. R & D Center at the Santa Fe plant in the city of Nascimento, Chile. The GENES software version 2018, with interface with MATLAB, was used to perform all the analyzes mentioned. The population of *E. benthamii* under study has good potential to be exploited by means of selective techniques in view of the witnesses used, considering the descriptive statistics as the favorable average level reached for the characteristics studied and the variability presented in terms of amplitude of variation. In the association between characteristics of the wood, the network of correlations allowed, besides facilitating the visualization of the correlations between the individual characteristics, to understand the correlations within and between the groups. By the factor analysis technique, it was possible to form character complexes that enabled the identification of accesses that stood out according to the industry's wishes. Through the study of the diversity of the population it was possible to group the individuals according to the characteristic set. In addition, to identify the importance of the characteristics as to their contribution to the total variation of the study population. The SOM technique

(Kohonen self-organizing map) was efficient in identifying patterns of similarity in the two sets of characteristics studied.

1. Introdução Geral

O Brasil ocupa a segunda posição mundial na produção de celulose e a oitava em relação à produção de papel (IBA, 2017). Apesar da crise econômica no Brasil, a indústria de celulose e papel subiu no ranking mundial em relação ao ano de 2015, o que demonstra a grande força dessa indústria e também do setor florestal na economia do país.

A grande extensão territorial e as variações climáticas do Brasil desafiam os melhoristas de espécies vegetais que buscam selecionar os melhores genótipos para diferentes localidades ou regiões com características desejáveis (MARCATTI et al., 2017). As espécies do gênero *Eucalyptus*, principal gênero para produção de celulose e papel no país, tem sido indicadas para áreas de temperaturas mais elevadas (FONSECA et al., 2010). Entretanto, a descoberta de espécies, desse gênero, que apresentam tolerância a geadas tem possibilitado a expansão das áreas de plantios para o Sul do país. Isso se deve, também, aos benefícios da madeira e as características silviculturais como o rápido crescimento, forma e incremento das espécies desse gênero (IBA, 2017). Nesse âmbito, a espécie *Eucalyptus benthamii* tem se destacado como grande potencial para plantios em áreas frias (BRONDANI et al., 2010).

O *Eucalyptus benthamii* apresenta bom crescimento e tolerância a geadas demonstrado em experimentos de plantios no estado de Santa Catarina (HIGA, 1999). O melhoramento genético para esta espécie ainda é recente, cujo foco dos melhoristas é a obtenção de híbridos intraespecíficos e híbridos interespecíficos que agregam características relevantes que aumentam à produtividade, a tolerância a geadas e, principalmente, a qualidade da madeira com foco a produção de polpa celulósica (ESTOPA et al., 2017).

O estudo de caracteres tecnológicos da madeira é laborioso e requer vários dias para serem determinados seus atributos em laboratório. É um processo caro e aplicado em um número restrito de indivíduos e, muitas das vezes, demanda a perda total do indivíduo amostrado que o caracteriza como método destrutivo (NUNES et al., 2016). Assim, métodos não destrutivos que contornem esses problemas, sem redução da acurácia na seleção, são fundamentais para o sucesso do programa de melhoramento florestal. Além disso, estudar e associar as características da madeira por técnicas multivariadas pode facilitar a interpretação das estruturas dos dados, diminuir perdas de informação, permitir a preconização dos usos da madeira e auxiliar no entendimento das relações entre as inúmeras características para os melhoristas em tomadas de decisões (SILVA et al., 2016). Apesar da importância desses caracteres, ainda são escassos trabalhos que mostram aplicações de técnicas multivariadas de

associação e técnicas preditivas, em especial com ênfase em inteligência computacional, na avaliação de fenótipos em árvores de *Eucalyptus*.

Em um programa de melhoramento, os estudos da diversidade dos materiais são importantes para identificar genitores contrastantes e que permitam, em populações derivadas de seus cruzamentos, ganhos de seleção por meio da seleção de genótipos superiores em especial dos transgressivos (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2011). Este tipo de estudo ocorre na fase de pré-melhoramento por meio do qual é possível viabilizar a regeneração, caracterização, conservação e exploração da variabilidade disponível na população de trabalho (PONTES, 2016). Técnicas multivariadas, como análises discriminantes, componentes principais e de agrupamento podem ser usadas nesses estudos, sendo que a escolha pela abordagem mais adequada varia em geral, segundo a precisão desejada, a facilidade de análise e a natureza do material, que é determinada pela forma com que os dados foram obtidos (PONTES, 2016; COSTA; SILVA; EBERT, 2013).

Além dessas, redes de correlações e análise de fatores contribuem para o melhorista no entendimento das características possibilitando uma melhor visualização e até mesmo na redução de caracteres devido à alta correlação entre estes.

Técnicas baseadas em inteligência artificial também têm contribuído para estudos de diversidade, como por exemplo, os mapas auto-organizáveis de Kohonen que são um tipo de RNA (Rede Neural Artificial) não supervisionada capazes de detectar similaridades, regularidades e correlações entre os padrões de conjunto de entradas, agrupando-os em classes ou *clusters* (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010). O uso dessa ferramenta tem um grande potencial para o estudo de características tecnológicas da madeira visto que podem, através do aprendizado com os próprios dados, fornecer informações sobre a influência das características na organização de um determinado conjunto de dados.

No que se refere a características tecnológicas da madeira são poucos os estudos de diversidade realizados devidos, principalmente, à dificuldade de obtenção de informações desta natureza. Apesar da escassez de informações, é possível encontrar trabalhos nessa área fundamentados em características tecnológicas da madeira tais como os apresentados por Castro et al. (2013), Almeida, (2001), Garcia (1998) e Trugilho et al. (1997).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade fenotípica de uma população de *E. benthamii* para adequação de estudos de características tecnológicas e de crescimento da madeira através das técnicas multivariadas e de inteligência computacional em um conjunto de indivíduos selecionados por critério industriais da madeira.

2. Revisão de Literatura

2.1. *Eucalyptus benthamii*

Esta é uma espécie do gênero *Eucalyptus* que pertence à divisão Angiospermae, classe Dicotyledoneae, ordem Myrtales e família Myrtaceae. Essa espécie foi classificada por Pryor & Johnson (1971) na série Viminales, subsérie Viminalinae. É encontrada em áreas limitadas, ao oeste da cidade de Sydney em planícies ao longo do Rio Nepean e seus tributários (HIGA; PEREIRA, 2003). O *Eucalyptus benthamii* Maid. & Camb é de procedência de Wentworth Falls – New South Wales, Austrália (33° 48' S; 150° 24' E; 150m), como destacado na Figura 1.

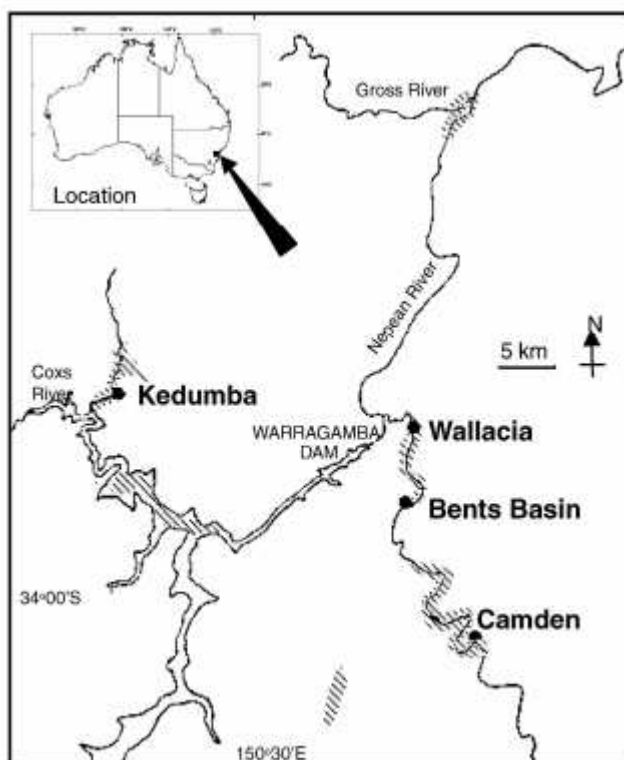


Figura 1. Distribuição geográfica de *Eucalyptus benthamii* na região de ocorrência natural.

Fonte: BUTCHER; SKINNER; GARDINER (2005).

O *E. benthamii* foi introduzido no Brasil em 1988, em um experimento realizado pela Embrapa Florestas – CNPF, em Colombo – PR. Há cerca de 7 a 10 famílias misturadas de procedência Wentworth Falls (NSW), Austrália (GRAÇA; SHIMIZU; TAVARES, 1999) citados por HIGA; PEREIRA, 2003. Esses autores observaram um ótimo desempenho desses

materiais, sendo aos oito anos de idade, altura média de 21,7 m e DAP médio de 18,2 cm. Pouco tempo depois, Higa & Carvalho (1990) observaram na região de Dois Vizinhos, PR, sobrevivência de 70%, altura média de 16 m e DAP médio de 15 cm aos 45 meses de idade, e concluíram que a espécie merece atenção especial dos melhoristas. Além do Sul dos pais, essa espécie também é apontada como promissora em áreas montanhosas do Estado de Minas Gerais (HIGA, 1999). Com esses ótimos resultados, a EMBRAPA FLORESTAS, no ano de 2005, com a finalidade de ampliar a base genética da população de *E. benthammi* no Brasil importou 36 lotes de sementes na forma de progênies de polinização aberta, além de outros dois de populações naturais (FILHO; SANTOS; FERREIRA, 2006).

Além desses destaques, o *E. benthammi* apresentou grande importância no Sul do Brasil pela sua alta tolerância ao frio, além da boa adaptação e do crescimento volumétrico (ESTOPA et al., 2017). Na área de distribuição natural dessa espécie, ocorriam em média, de 4 a 10 geadas por ano, de acordo com Hall e Brooker (1973 - citado por Brondani 2008). 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 (BRONDANI, 2008; CARON et al., 2011; ELOY et al., 2013; MORAES et al., 2014; SANTOS et al., 2015).

O potencial para fins industriais e energéticos do *E. benthammi* já é apontado em alguns trabalhos (HIGA & PEREIRA, 2003; FILHO; SANTOS; FERREIRA, 2006). Entretanto, não se aconselha para o uso voltado para serraria devido a rachaduras e empenamento de peças (HIGA & PEREIRA, 2003), para produção de óleos essenciais (SILVA; BRITO; SILVA JUNIOR, 2006).

Abaixo estão definidas características silviculturais da madeira de *E. benthammi* obtidas em ensaios com espaçamento de plantio 3,0m por 3,0m, a idade de povoamento de sete anos (HIGA; PEREIRA, 2003).

Tabela 1. Características de crescimento da madeira (HIGA & PEREIRA, 2003).

Características	Valores
Altura total (m)	21,7 ± 1,1
DAP (cm)	18,2 ± 1,5
Volume (m ³)	0,285 ± 0,048
% de casca	21,2 ± 1,0

Tabela 2. Características tecnológicas da madeira (HIGA & PEREIRA, 2003).

Características	Valores
Densidade básica média da árvore (g/cm ³)	0,477 ± 0,009
Densidade básica a 1,30m do solo (g/cm ³)	0,481 ± 0,011
Densidade básica média da casca (g/cm ³)	0,291 ± 0,006
Teor de holocelulose (%)	71,6 ± 0,5
Teor de lignina (%)	25,2 ± 0,3
Teor de extrativos (%)	3,2 ± 0,3
Rendimentos da destilação seca da madeira	34,3 ± 0,7
Carvão (%)	37,4 ± 1,1
Licor pirolenhoso (%)	37,4 ± 1,1
Gases não condensáveis (%)	28,4 ± 1,2
Teor de carbono fixo (%)	83,6 ± 0,6
Teor de voláteis (%)	15,1 ± 0,6
Teor de cinzas (%)	1,3 ± 0,08
Poder calorífico superior do carvão	8187 cal/g

A madeira de *E. benthamii* tem como características gerais: cerne e alburno distintos, cerne de cor marrom avermelhada e alburno amarelo rosado, dureza moderada, textura fina a média, grã irregular, cheiro e gosto imperceptíveis, superfície levemente brilhante em luz adequada (HIGA & PEREIRA, 2003). De acordo com alguns autores as características anatômicas do xilema secundário são comuns às espécies da família Myrtaceae (HIGA & PEREIRA, 2003).

Um dos desafios para recomendação de materiais para a região Sul é conciliar material tolerante ao frio e com bom crescimento. Os primeiros materiais indicados para ocorrência de geadas foram do *E. dunnii* por ser uma espécie capaz de se recuperar após as geadas quando plantadas em áreas mais altas de relevo. Entretanto, *E. benthamii* despertou interesse dos plantadores de eucalipto por demonstrar grande potencial e ótimo crescimento ao mesmo tempo. Visto que este apresenta característica de tolerância maior ao frio, já o *E. dunnii* é considerado como uma espécie mais resiliente que tolerante ao frio (SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; SANTOS, G.A.).

Assim como as características da madeira de forma geral, a tolerância ao frio é herdada de forma aditiva, onde a média dos cruzamentos é intermediária em relação aos genitores. A busca por híbridos se tornou o grande objetivo para se conseguir a manifestação da heterose e uma posterior clonagem desse material na maioria dos programas de melhoramento florestal no Brasil. No entanto, para tolerância a geada o que tem se observado é que pelo fato da tolerância ser aditiva, quando hibrida-se uma espécie tropical (*E. urophylla* por exemplo) com

o *E. benthamii*, o híbrido tem perdido tolerância ao frio devido a herança genético do genitor tropical.

Além disso, características da biologia floral, como o tamanho reduzido do botão floral (em relação ao *E.urophylla* x *E. grandis*, por exemplo), têm dificultado o sucesso das polinizações controladas para obtenção de híbridos com essa espécie (SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; SANTOS, G.A.).

2.2.Potencial de população com base características de crescimento e tecnológicas da madeira

O potencial de uma população, em programas de melhoramento para a indústria de celulose e papel, visa principalmente o aumento no incremento volumétrico, genótipos tolerantes a estresses abióticos e bióticos e melhor desempenho em características relacionadas com a qualidade da madeira (FONSECA et al., 2010). Entretanto, algumas características que possibilitam a entender esses aspectos são de fácil obtenção, já outras são de difícil mensuração ou demandam alto custo e tempo na avaliação. Por exemplo, as características relacionadas ao volume, como DAP e altura, são de fácil obtenção e as relacionadas com a qualidade da madeira consistem em um grande desafio devido ao fato de que, para se obter informações sobre estas características, é necessária a destruição completa do indivíduo, por meio do cozimento. Outro desafio é a necessidade, para fins de mensuração, que a planta esteja na idade de corte para determinação das propriedades da madeira, o que ocasiona em maior tempo para a seleção de genótipos superiores (HSING; DE PAULA; DE PAULA, 2016). Entretanto, reconhecemos que esse conjunto total de características é que torna possível se ter conhecimento do potencial de uma população a ser melhorada e tomar decisões, não sendo possível negligenciar seus estudos.

A madeira é um material heterogêneo, tanto do ponto de vista físico, químico, mecânico e anatômico (BROWNING, 1963). Essas variações são atribuídas à idade, ao material genético, sítio, espaçamento, nutrição e interações ambientais (TRUGILHO et al., 2015).

Quando se refere à característica de crescimento podemos citar o DAP (diâmetro a 1,30 do solo), altura, volume e IMA que variam muito de espécie para espécies e tendem a se estabilizar com o tempo.

O DAP é uma medida do diâmetro da árvore à altura do peito, em relação ao nível do solo. É uma variável dendrométrica muito importante e, na medida do possível, o DAP de

uma árvore em pé deve obtido a 1,30m de altura. Esse ponto de medição dá agilidade ao trabalho de campo, facilita o manuseio de instrumentos de medição e diminui o risco de problemas ergonômicos ao mensurador, sendo considerada uma forma de padronização mundial da altura de tomada da medida (SOARES; NETO; DE SOUZA, 2006). Esse mesmo autor coloca quatro razões para a importância do DAP: 1) facilmente avaliada; 2) Fornece base para muitos outros cálculos; 3) o agrupamento dos diâmetros define a distribuição diamétrica da floresta, a qual é essencial para definição de estoque de crescimento e para análise de decisões econômicas e silviculturais; 4) Pode-se calcular a área basal do povoamento que é importante parâmetro da densidade do povoamento.

A altura total é o comprimento da árvore ou do seu fuste/tronco. Sua medição é muito importante para a classificação da qualidade do sítio (local), para as estimativas volumétricas e para o ajuste de modelos hipsométricos e alométricos. Seu conhecimento auxilia no ordenamento da produção, haja vista que muitas tabelas de produção, bem como alguns tipos de modelos de crescimento para florestas relacionam-se à variável (SOARES; NETO; DE SOUZA, 2006).

Em levantamentos feitos em povoamentos florestais equiâneos, o volume é uma variável de muito interesse (VENDRUSCOLO et al., 2015). Thomas et al. (2006) citam que esta é a variável de maior importância para o potencial de um povoamento florestal. É muito comum o uso de equações volumétricas de dupla entrada como metodologia para se avaliar o volume de árvores, cujo este é obtido pela relação do diâmetro a 1,30 m de altura (DAP) e a altura (Ht) das árvores (MIRANDA et al., 2014). Metodologias que usam inteligência computacional têm sido alternativas muito aplicadas nesse tipo de estimação (VENDRUSCOLO et al., 2015).

O Incremento Médio Anual ou IMA expressa média anual do crescimento para qualquer idade. É obtido pela divisão da grandeza atual da variável considerada pela idade a partir do tempo zero. Medida utilizada para se avaliar o crescimento da floresta e em tomadas de decisões (SOARES; NETO; DE SOUZA, 2006).

A produção de celulose de forma simplificada consiste na degradação e remoção da lignina da madeira que une as fibras, possibilitando a separação e individualização delas. Segundo (GOMIDE; NETO; REGAZZI, 2010) para que a produção de celulose seja de alta qualidade é necessário que a madeira tenha características físicas, químicas e anatômicas de acordo com o produto final a ser obtido. As práticas silviculturais, manejo dos povoamentos florestais e a espécie são fatores determinantes a essas características. (TRUGILHO et al.,

2015). Assim, o entendimento das características tecnológicas relacionadas à polpação de celulose é muito importante.

De acordo com Foelkel (1997) a densidade básica, o teor de lignina total e insolúvel em ácido, o teor de cinzas e o teor de extrativos são alguns parâmetros importantes relacionados à madeira e necessitam ser analisados e incluídos em programas de melhoramento, principalmente quando o foco são características de qualidades da madeira para celulose.

A densidade básica é uma das características mais importante a ser consideradas, pois está relacionada a alguns aspectos tecnológicos e econômicos muito importantes. 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). Essas duas características são indicadores importantes da qualidade da madeira visando ao seu desempenho no processo industrial (FONSECA et al., 2010).

O teor de cinzas é a fração que permanece como resíduo, após a combustão do carvão vegetal. Varia de 0,5% a mais de 5%, dependendo da espécie, da quantidade de casca e da presença de terra e areia na madeira. Teores muito elevados exigem limpezas da caldeira mais frequentes e podem provocar corrosão em equipamentos metálicos, assim quanto menor o teor de cinza melhor (PEREIRA et al., 2000).

O teor de extrativos é um dos constituintes menores da madeira. É encontrado fora da parede celular, dependente de fatores como espécie, idade e local de ocorrência. Esses constituintes são responsáveis por características de cor, cheiro, resistência ao apodrecimento, sabor e propriedades abrasivas da madeira (D'ALMEIDA, 1988). O teor de extrativos é importante para o desempenho da polpação, já que a presença de compostos fenólicos tende a aumentar o consumo de reagentes químicos durante o cozimento e a reduzir o rendimento (SARTO; SANSIGOLO, 2010). Os tipos de extrativos podem ser: extrativos em água, extrativos em acetona e extrativos totais.

A lignina é uma substância abundante e importante para a madeira, sendo um agente permanente de ligação entre células, formando uma estrutura resistente ao impacto, compressão e dobra (KLOCK et al., 2005). É a terceira substância macromolecular componente da madeira, sendo suas moléculas completamente constituídas por diferentes polissacarídeos, formadas por um sistema aromático composto de unidades de fenilpropano. Há maior teor de lignina em coníferas do que em folhosas e existem algumas diferenças estruturais entre a lignina encontrada nas coníferas e nas folhosas. Na utilização da madeira,

na maioria das situações, a lignina é parte do produto, no entanto para a polpação esta deve ser parcialmente ou totalmente retirada (COSTA, 2011). É importante para o desempenho da polpação, pois a presença de compostos fenólicos tende a aumentar o consumo de reagentes químicos durante o cozimento e a reduzir o rendimento (KLOCK et al., 2005). Quando se relacionamos teor de lignina e a densidade básica observa-se correlação positiva entre estes (VEIGA, 2010; DIAS e JUNIOR, 1985; FOELKEL, 1978). Os tipos mais importantes para a polpa de celulose são: lignina klason e lignina total.

Número kappa é definido como o número de mililitros de solução de permanganato de potássio 0,1 N consumido por um grama de pasta de celulose absolutamente seca, sob condições específicas e corrigidas para um consumo relativo de 50% de permanganato. O aumento do número kappa de polpas não branqueadas pode aumentar o rendimento e o consumo específico de reagentes químicos no branqueamento aumenta à medida que se reduz o número kappa (SILVA, 2011; GARCIA, 1998b)

Para estudos de características quantitativas ligadas a madeira, crescimento ou tecnológica, normalmente se tem grande número de variáveis que são, na maioria das vezes, altamente correlacionadas. Uma análise uni ou bivariada pode tornar a interpretação muito complexa e de difícil entendimento, não contemplando as múltiplas relações entre as características em análise. Técnicas multivariadas têm sido amplamente utilizadas para facilitar o entendimento de forma mais completa e real dos dados em análise. Além de possibilitar as respostas relacionadas a todas as variáveis obtendo resultados com explicações biológicas consistentes. Além disso, essas técnicas permitem a detecção de padrões de similaridade e também a organização da diversidade genética de uma população.

2.3. Padrão de similaridade e organização da diversidade genética

O estudo de diversidade em um programa de melhoramento tem diversas finalidades. Por exemplo, na escolha de genitores em busca de cruzamentos divergentes em busca do efeito heterótico (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2011), no fornecimento de informações das variações fenotípicas da população e na contribuição em processo de seleção de progênies (XAVIER et al., 1996). Esses estudos auxiliam o melhorista a entender as relações genéticas entre indivíduos e populações, quantificar e prever o nível de variabilidade total existente em sua distribuição entre ou dentro do material genético, podendo ser indivíduos, acessos de bancos de germoplasma, linhagens, cultivares, populações e espécies (PESSONI, 2007).

Possibilitam, dessa forma, na identificação de padrões de similaridades dos acessos em estudo e na organização da diversidade genética.

Na literatura, estudos de diversidade genética em características de qualidade da polpa celulósica ainda são escassos, destacando os trabalhos de diversidade genética em características tecnológicas da madeira (TRUGILHO et al., 1997; GARCIA, 1998; ALMEIDA, 2001). Fatores como o número de características envolvidas no processo e a forma de obtenção das mesmas dificultam os estudos nessa linha (ALMEIDA, 2001). Este autor ressalta que o custo e o tempo gastos na polpação inviabilizam os estudos de genótipos de interesse visto que apenas os materiais que apresentam melhores valores volumétricos são avaliados, sendo estes não necessariamente os de maiores produções celulósicas. Neste âmbito, estudar diversidade genética das características de qualidade da madeira se torna de grande importância.

2.3.1. Mapas auto-organizáveis de kohonen

Os mapas auto – organizáveis de Kohonen (SOM) são considerados uma arquitetura de redes neurais artificiais de estrutura reticulada, com aprendizado competitivo (KOHONEN, 1990). Esse tipo de RNA tem sido utilizado para problemas multivariados de difícil solução com o objetivo de descobrir padrões significativos ou característicos dos dados de entrada. Ela metodologia que foi inspirada nas atividades do córtex cerebral, descrita na década de 60 por Hubel e Wiesel. Em 1976, Willshaw e Von Der Malsburg pesquisaram as razões da formação de conexões padrões no sistema nervoso mais associado ao córtex visual e com isso modelaram uma rede para tentar explicar o fenômeno de auto-organização no sistema ótico. Após esse trabalho, Teuvo Kohonen, 1982, propôs a rede de Mapas auto-organizável conhecida como SOM baseadas nas informações obtidas nos trabalhos anteriores.

Kitani (2013) explicou de forma simples o funcionamento do SOM. Segundo o autor o SOM se define como uma rede neural não supervisionada que mapeia uma relação não linear entre os vetores de entrada e saída. A aprendizagem é de forma competitiva e sem a existência de algum critério de convergência ou minimização. O algoritmo trabalha com um número definido de iterações durante a fase de aprendizado e adaptação dos pesos. Nessa rede todas as entradas estão conectadas com todos os neurônios de saída, além disso, os neurônios têm uma relação de vizinhança que são definidas por conexões laterais com os neurônios adjacentes durante a fase de aprendizado, que reduz ao longo do processo de treinamento.

Normalmente, os mapas de Kohonen são uni ou bidimensionais. Entretanto, são possíveis maiores dimensões, mas isto torna mais complicada a visualização do mapa.

O processo de aprendizado competitivo de uma rede SOM consiste em uma prova entre os neurônios que compõem a camada de saída. Nessa competição, é apresentado à rede um vetor de entrada (X_i) e, a partir de alguma regra, define-se qual neurônio é o vencedor da competição. O neurônio vencedor e sua vizinhança (V), definida por meio de um raio (R), têm seus pesos (w) atualizados (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010).

Com o passar do tempo foram surgindo diversas variantes do SOM que trabalham as lacunas deixadas pelo SOM de Kohonen ou com mistura de outras abordagens.

De forma simplificada, Cruz & Nascimento (2018) separam as etapas de aprendizado em três passos como será descrito abaixo:

Passo 1: Definição do mapa topológico e estabelecimento dos pesos aleatórios.

Para o processo de aprendizado competitivo, os autores ilustraram uma rede com duas dimensões e composta de nove neurônios, apresentada na figura 2. Consideraram que o vetor de entrada p -dimensional de observações do objeto i , sendo $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

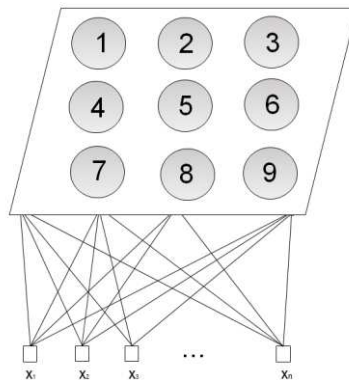


Figura 2. Arquitetura e topologia de uma rede neural SOM em duas dimensões.

Para o estabelecimento do mapa topológico é necessário especificar a quantidade de neurônios e sua disposição, além do padrão da vizinhança por meio de uma medida quantitativa expressa pelo raio. Dessa forma, depois de se definir a quantidade de neurônios define-se o raio (R) para obtenção da vizinhança (V).

Passo 2: Nesta etapa os valores (exemplos) das entradas são apresentados à rede e identificado o neurônio vencedor. Para cada exemplo é feito ajuste dos pesos aleatórios.

A partir de medidas de distancias, como a Euclidiana quadrática, é definido o neurônio vencedor sendo aquele que apresenta a menor distância para o vetor de entrada.

$$d_{ii'}^2 = \sum_j (Y_{ij} - Y_{i'j})^2$$

Através das expressões abaixo, para cada exemplo apresentado dentro de uma determinada época, os pesos do neurônio vencedor e de sua vizinhança devem ser respectivamente atualizados. Assim:

- i. $\mathbf{w}_{(\text{Vencedor})}^{i+1} = \mathbf{w}_{(\text{Vencedor})}^i + \eta(x_i - \mathbf{w}_{(\text{Vencedor})}^i);$
- ii. $\mathbf{w}_{(\text{Vizinhança})}^{i+1} = \mathbf{w}_{(\text{Vizinhança})}^i + f(x) \eta(x_i - \mathbf{w}_{(\text{Vizinhança})}^i),$

em que η é a taxa de aprendizado como apresentado nos capítulos anteriores.

É possível observar que os neurônios que pertencem à vizinhança do neurônio vencedor são atualizados considerando uma ponderação da taxa de aprendizado.

Nessa situação, os neurônios que estão mais próximos do neurônio vencedor recebem uma “bonificação” mais próxima da recebida pelo ganhador. Além disso, nessa situação, é possível excluir a etapa de formação de vizinhança.

O treinamento pode ser feito de modo sequencial (incremental) ou em *batch* (lote). No primeiro, modo incremental, a atualização dos pesos sinápticos dos neurônios no arranjo é feita toda vez que um exemplo (ou item de dados) é apresentado à rede, ou seja, toda vez que uma amostra do vetor de entrada (x) é apresentada à rede, a distância entre ele e todos os vetores pesos do SOM são calculados usando a medida da distância euclidiana quadrática. O neurônio vencedor será aquele que tiver a menor distância entre o próprio e a entrada (x).

Depois de encontrado o neurônio vencedor, os vetores de peso do SOM são atualizados fazendo com que eles se aproximam cada vez mais da entrada (x). Para os vizinhos mais próximos topologicamente o mesmo procedimento é feito.

Sumarizando, o algoritmo envolve três processos fundamentais para a formação do mapa auto-organizável:

- **Competição:** Fenômeno que ocorrem em todos os neurônios do mapa topológico, em que, após a apresentação da entrada, os neurônios apresentam valores de

proximidade, estabelecidos uma função discriminante, e competem entre si. No final, haverá um neurônio vencedor.

- **Cooperação:** O neurônio vencedor ocupa uma localização espacial definida de forma que é possível estabelecer uma vizinhança e, então, proceder à cooperação com seus vizinhos.
- **- Adaptação Sináptica:** O neurônio excitado aumenta seus valores individuais da função discriminante em relação à entrada com ajustes em seus pesos sinápticos.

Passo 3: Quantificação de um critério de convergência

Após todas as entradas participarem da competição completamos uma época. O procedimento deve ser repetido (ou seja, retornado ao passo 2) até que não haja grandes mudanças entre os pesos iniciais e atualizados ($W_{inicial} - W_{atualizado} < \delta$, sendo δ um critério de convergência).

Em geral, visando uma melhor convergência, na implementação das redes SOM os valores de entradas são normalizados, ou seja, os vetores são divididos por sua norma.

Esse mesmo autor ressalta que a identificação dessas classes auxilia no entendimento das relações entre os seus elementos constituintes, possibilitando auxiliar as funções de um componente ou amostra com base nos atributos dos elementos que constituem aquele grupo. O uso dessa ferramenta tem um grande potencial para o estudo de características tecnológicas da madeira visto que podem, através do aprendizado com os próprios dados, fornecer informações sobre a influência das características nas classes de um determinado conjunto de dados.

2.4.Associação entre características

2.4.1. Rede de Correlações

A rede de correlações possibilita, não apenas a identificação de clusters de variáveis, mas também uma visão de como os grupos estão conectados (URSEM et al., 2008). De acordo com Nogueira et al. (2013), o conhecimento das relações existentes entre os caracteres é de grande importância no melhoramento vegetal, pois fornece informações úteis ao

melhorista que auxiliam no processo de seleção. Por exemplo, alterações indiretas em uma característica em detrimento de modificações outras.

Quando se tem uma grande quantidade de variáveis representativas de diferentes aspectos biológicos há, conseqüentemente, elevado número de matrizes de correlação que são frequentemente computadas para seus estudos fenotípicos/genotípicos, dificultando a análise de toda a informação de forma eficaz. A técnica de rede de correlações é uma alternativa que pode auxiliar na resolução desse problema, pois permite a detecção de padrões sugestivos em um gráfico de dispersão, o que não é possível na representação numérica em uma matriz. Assim, análise por rede de correlação torna-se uma linguagem intuitiva na representação de um grande número de informações (LANGFELDER; HORVATH, 2008).

Podem-se citar diversos trabalhos em diferentes áreas que aplicação rede de correlações como na biologia (URSEM et al., 2008; DILEO et al., 2011; PEARCE et al., 2015), na área de finanças (KUMAR; DEO, 2012), na área da saúde (SABA et al., 2014) e no melhoramento (SILVA et al., 2016). No entanto, ainda não há trabalhos que usam essa metodologia para estudo de características de crescimento e tecnológicas da madeira.

2.4.2. Análise de fatores

A origem da análise de fatores foi atribuída a Charles Spearman, em 1904, por ter dedicado aproximadamente 40 anos de sua vida a esta metodologia de acordo com Harman (1967), citado por Ferreira et al. (2005).

A análise de fatores é uma técnica multivariada que visa à estruturação e simplificação de dados originais em que um número relativamente grande de variáveis seja representado por um número menor através de combinações lineares conservando o máximo possível de suas informações (FERREIRA et al., 2005). Segundo este mesmo autor, ela se fundamenta na estrutura de covariância entre as observações e tem o objetivo de obter variáveis latentes, ou fatores, não observáveis que reduzirão o número de variáveis originais.

Nesta análise, é considerado que cada variável em análise é explicada por um conjunto de fatores comuns e por um fator específico. Estima-se o peso ou a carga fatorial de forma que cada fator possa ter uma interpretação biológica. Logo após, realiza-se a análise complementar em que os fatores comuns são expressos como combinações lineares de características. Estas características, agrupadas em um fator, estão fortemente correlacionadas entre si e fracamente com outro fator (CRUZ & CARNEIRO, 2003).

Resultados disponíveis na literatura dão suporte à utilização da análise de fatores no que se refere ao potencial de agrupamento de variáveis correlacionadas (FERREIRA et al., 2005; FERREIRA et al., 2010). No melhoramento, esses complexos de variáveis podem ser utilizados na predição de ganhos genéticos indiretos por seleção e complementar as técnicas de seleção simultânea baseadas em índices de seleção. A análise de fatores pode eliminar problemas associados a índice de seleção, incluindo erros de estimação de parâmetros genéticos e dificuldades em definir os pesos econômicos para as variáveis originais (GODSHALK; TIMOTHY, 1988).

O objetivo da simplificação do banco de dados é tornar mais fácil e precisa a interpretação das variáveis e das relações entre elas. No melhoramento, a análise de fatores também permite obter o desempenho de acessos de uma população com base no conjunto de características da mesma.

Para estudos de características quantitativas ligadas a madeira, crescimento ou tecnológica, normalmente se tem um grande número de variáveis e são na maioria das vezes altamente correlacionadas. Uma análise univariada pode tornar a interpretação muito complexa e de difícil entendimento, não contemplando as múltiplas relações entre as características em análise, principalmente devido ao número elevado de características. Assim, técnicas multivariadas têm sido amplamente utilizadas para facilitar o entendimento de forma mais completa e real dos dados em análise.

A análise de fatores não é uma metodologia muito recente, exemplo de trabalho no melhoramento de plantas como essa técnica já vem sendo aplicada: Godshalk; Timothy, (1988), Ranalli; Ruaro; Re, (1991), Acquaah; Adams; Kelly (1992), Granate et al. (2008), Ferreira et al. (2005), Benin et al. (2010), Carvalho et al. (2014) e Menezes (2017). Até o momento, não se conhecem trabalhos sobre a análise de fatores aplicada ao melhoramento em característica de qualidade da madeira em eucalipto.

3. Material e Métodos

3.1. Materiais e mensurações de características

3.1.1. Caracterização da madeira em laboratório

O material genético utilizado é proveniente de um teste de progênies de *E. benthamii*, de quatro anos de idade de propriedade da empresa CMPC Celulose Riograndense, localizado no município de Encruzilhada do Sul, no estado do Rio Grande do Sul.

As propriedades que expressam a qualidade da madeira e caracterização silvicultural foram convencionalmente determinadas para as 87 amostras de madeira e constituíram o conjunto das variáveis dependentes para as quais foram ajustados os modelos de calibração. As amostras foram analisadas no Centro I+D da CMPC Celulose S.A., na planta de Santa Fé, na cidade de Nascimento, Chile.

A partir dos espectros, foram estimados os parâmetros de rendimento total em celulose e a relação Siringil/Guaiacil (S/G) de todas as árvores do povoamento, fazendo uso de modelos 47 de calibração de *E. globulus* e *E. grandis*, desenvolvidos em estudos anteriores no laboratório de Espectroscopia no Infravermelho (ALVES et al., 2011; ALVES et al., 2012). Os valores estimados foram utilizados para selecionar 20 árvores com alto (55 até 62%) e 20 com baixo (36 até 43%) rendimento e outras 37 com valores intermediários (44 até 54%). Adicionalmente, cinco árvores foram selecionadas para representar altos valores S/G (1,70 até 2,10) e mais cinco com baixos valores de S/G (1,10 até 1,69). No total, 87 árvores, sendo 75 de *E. benthamii*, quatro de *E. dunnii*, quatro de *E. grandis* e quatro de *E. saligna* foram escolhidas para serem amostradas novamente. A inclusão das 12 amostras dessas três espécies de eucaliptos teve por finalidade proporcionar a confecção de um modelo de calibração heterogêneo e robusto, envolvendo a maior variabilidade de dados possível. Inicialmente, os cavacos livres de casca e nó, foram passados por um classificador modelo STFI Shift Classifier code FI-117, marca L & W, seguindo a normativa SCAN CM-40:94. Posteriormente a fração aceita (diâmetro > 7 mm) foi coletada e empregada para análises descritas a seguir.

Tabela 3 - Dados referencia de alta e baixa relação Siringil/Guaiacil

Alto S/G	Valor	Nº de Referência	Baixo S/G	Valor	Nº de Referência
277 - <i>E. benthamii</i>	1,93	26	831 - <i>E. benthamii</i>	1,58	57
1385 - <i>E. benthamii</i>	1,92	87	758- <i>E. benthamii</i>	1,57	55
652 - <i>E. benthamii</i>	1,90	47	1186 - <i>E. benthamii</i>	1,53	76
1378 - <i>E. benthamii</i>	1,90	86	567 - <i>E. benthamii</i>	1,51	42
631 - <i>E. benthamii</i>	1,89	44	1020 - <i>E. benthamii</i>	1,49	65

S/G: relação Siringil/Guaiacil; Nº de Referência: número de identificação da amostra.

Tabela 4 - Tabela com os dados referenciais de baixos e altos rendimentos de polpa

Nº Amostra	Nº de Referência	Alto Rendimento	Nº Amostra	Nº de Referência	Baixo Rendimento
747- <i>E. benthamii</i>	54	62,2	703- <i>E. benthamii</i>	49	42,1
053- <i>E. benthamii</i>	16	53,5	1182- <i>E. benthamii</i>	75	42,1
390- <i>E. benthamii</i>	30	52,9	769- <i>E. benthamii</i>	56	42,7
536- <i>E. benthamii</i>	39	52,9	1067 <i>E. benthamii</i>	68	42,8
249- <i>E. benthamii</i>	22	52,8	1295- <i>E. benthamii</i>	81	42,8
1339- <i>E. benthamii</i>	82	52,6	716 - <i>E. benthamii</i>	50	43,0
435- <i>E. benthamii</i>	33	52,3	1157- <i>E. benthamii</i>	72	43,2
739- <i>E. benthamii</i>	53	51,9	880- <i>E. benthamii</i>	59	43,4
839- <i>E. benthamii</i>	58	51,8	1129- <i>E. benthamii</i>	70	43,5
204- <i>E. benthamii</i>	20	51,6	1010- <i>E. benthamii</i>	64	43,8
260- <i>E. benthamii</i>	23	51,6	1060- <i>E. benthamii</i>	67	44,3
083- <i>E. benthamii</i>	17	51,5	237- <i>E. benthamii</i>	21	44,8
012- <i>E. benthamii</i>	13	51,5	138- <i>E. benthamii</i>	19	45,2
1162- <i>E. benthamii</i>	73	51,5	720- <i>E. benthamii</i>	51	45,5
042- <i>E. benthamii</i>	15	51,5	293- <i>E. benthamii</i>	27	45,8
417- <i>E. benthamii</i>	31	51,1	470- <i>E. benthamii</i>	37	46,0
264- <i>E. benthamii</i>	24	51,1	929- <i>E. benthamii</i>	61	46,0
730- <i>E. benthamii</i>	52	51,1	433- <i>E. benthamii</i>	32	46,0
501- <i>E. benthamii</i>	38	51,0	538 - <i>E. benthamii</i>	40	46,2
549- <i>E. benthamii</i>	41	51,0	338 <i>E. benthamii</i>	29	46,2

Nº de Referência: número de identificação da amostra.

3.1.1.1. Determinação da densidade básica

A densidade básica foi determinada segundo a norma SCAN – CM 43:95, que é baseada no princípio de Arquimedes. Brevemente, os cavacos selecionados foram impregnados com água entre 20 °C – 25 °C, sob pressão de 5 bar por 12 horas. Após comprovação da completa

saturação, a água superficial do cavaco foi removida por centrifugação, logo foram realizadas pesagens na balança hidrostática seguindo a normativa. Posteriormente, os cavacos foram secados na estufa $105 \pm 2^\circ\text{C}$ até peso constante (16 – 20 horas). A densidade básica foi calculada conforme a relação.

$$DB(\text{kg}/\text{m}^3) = \frac{P3}{P2 - P1} \times 1000$$

Onde

$P1 = \text{Peso picnômetro imerso}$

$P2 = \text{Peso picnômetro imerso} + \text{cavacos}$

$P3 = \text{Peso cavacos absolutamente secos}$

3.1.1.2. Ensaio químicos

Para as análises químicas, os cavacos selecionados da fração aceita, foram moídos em moinho de facas, marca Retsch, logo o material foi peneirado segundo a normativa TAPPI T 257, onde a fração ≥ 40 mesh foi coletada e usada para análise, segundo as normativas detalhadas na Tabela 3.

Tabela 5 - Normativas empregadas para análises químicas da madeira moída. Todas as análises foram feitas com base na madeira seca

Análise química	Norma utilizada
Teor de cinzas	TAPPI 21 1 OM-02
Extrativos	TAPPI 280 PM-99
Lignina Klason e Total	TAPII 222 OM-2 e TAPPI UM-250
Pentosanas	TAPPI T223 CM-01

Fonte: Centro I+D da CMPC Celulose S.A.

3.1.1.3. Cozimentos Kraft

O cozimento kraft foi realizado em duplicata para cada amostra empregando um sistema de Digestor Rotatório, que consiste em um digestor batch com capacidade para uso de cinco

digestores de 1,8 litros cada. Possui também um sistema de controle automático de temperatura.

Na polpação kraft as condições de temperatura e pressão foram mantidas constantes e o tempo de cozimento foi prolongado até atingir o Fator H de 650. A carga de álcali efetivo foi variável, visando à obtenção de número Kappa de 18 ± 1 na polpa, procedimentos similares ao que é empregado na indústria de celulosa e papel. As características da polpação kraft realizadas e os parâmetros empregados para todos os cozimentos foram os seguintes:

- Quantidade de cavacos : 150 gramas base massa seca
- Hidro-módulo ou consistência : 4:1 (Licor: Madeira)
- Fator H : 650
- Temperatura de cozimento : 158 °C
- Sulfidez do licor branco : 25%

Após atingir o Fator H de 700, a polpa foi filtrada para remoção do licor negro, e o material sólido retido foi passado pelo classificador para quantificação dos rejeitos ou shives (resíduos de casca, nó ou material não digerido no cozimento ≤ 2 mm), os quais são secados e quantificados.

Uma vez que a polpa foi classificada, o excesso de água foi removido para formação do pellet, o qual é secado na estufa 105 °C por 12 horas. A determinação do rendimento total foi realizada considerando a massa de rejeito.

A determinação do valor kappa foi realizada segundo a normativa ISSO 302:2004, empregando a polpa seca após cálculo de rendimento.

3.2. Avaliação do potencial da população

3.2.1. Análise descritiva

A análise descritiva, contendo informações sobre médias, variância, mínimo, máximo, coeficiente de variância, desvio padrão e amplitude, foi realizada utilizando o Programa GENES (CRUZ, 2016), versão 2018, tanto para as características de crescimento da madeira quanto para as características de qualidade da madeira.

As características de crescimento foram: DAP (diâmetro a 1,30 do solo), Altura, Volume e IMA. Já as características tecnológicas da madeira, como já definidas

anteriormente, foram: Rendimento total, teores de Cinzas, teores de Extrativos em acetona, teores de Extrativos em água, teores de Extrativos Totais, teores de Pentosanas, Lignina Klason, Lignina Total, Holocelulose, Densidade Básica e Número Kappa.

Para o cálculo do volume da árvore (VOL, m³) foi utilizada a equação de Schumacher e Hall (1933) conforme descrita abaixo:

$$\text{VOL} = \frac{\pi \times \text{DAP}^2 \times \text{Altura} \times f}{40.000}$$

Em que: VOL = volume da árvore em m³; DAP = diâmetro à altura do peito em cm; Altura = altura total das árvores em m; f = fator de forma adotado (0.405); e π = razão entre a circunferência e diâmetro de um círculo (3.14159).

O incremento médio anual (IMA, m³ha⁻¹ano⁻¹) foi calculado utilizando o VOL de cada árvore do experimento produzido no espaçamento de 3,0 x 2,0 m e extrapolado para 1 ha e dividido pela idade (4 anos):

$$\text{IMA} = \frac{\text{VOL} \times 10,000}{54}$$

Em que: IMA = incremento médio anual (IMA, m³ha⁻¹ano⁻¹); VOL = volume da árvore em m³.

3.3. Estudo de associação entre características

3.3.1. Análise de correlação

O estudo de correlação também foi realizado o Programa Genes (CRUZ, 2016), versão 2018, para as características de qualidade da madeira, definida pela formula abaixo:

$$r = \frac{C\hat{o}v(X, Y)}{\sqrt{V(x)V(Y)}}$$

r: correlação.

3.3.2. Rede de correlação

As matrizes de correlação foram analisadas através da criação de redes de correlação, nas quais as ligações entre variáveis foram determinadas pela "matriz de adjacência" $A = h(R)$, com a seguinte função: $h(r_{ij}) = \frac{1}{2}\{SNG(|r_{ij}| - \rho + 1)\}$ onde: ρ é o parâmetro que determina o valor mínimo que uma correlação deve apresentar para ser representada na rede de correlações. Nesse trabalho, assim como estudo de Silva et al. (2016), seu valor foi definido como zero, para que todas as conexões entre variáveis pudessem ser traçadas.

A espessura e a intensidade da cor das bordas foram controladas por aplicação de um valor de corte igual a 0,3, o que significa que apenas $|r_{ij}| \geq 3$ têm as suas linhas destacadas. Por fim, as correlações positivas foram coloridas em verde escuro, enquanto as negativas foram retratadas em vermelho. Correlações positivas indicam a tendência de uma variável aumentar quando a outra aumenta, correlações negativas indicam tendência de uma variável aumentar enquanto a outra diminui.

Por rede de correlação, as variáveis são representadas por nós, que são conectados por linhas em que cada uma tem peso indicando a força da correlação. De modo que quanto mais espessa e maior o comprimento da linha maior a correlação, possibilitando a formação de grupo de caracteres (EPSKAMP et al., 2012).

3.4. Análise do desempenho de acessos de uma população

3.4.1. Análise de Fatores

Assim, a análise de fatores é uma técnica estatística multivariada que, a partir da estrutura de dependência existente entre as variáveis de interesse, que em geral representada pelas correlações ou (co)variâncias entre essas variáveis, possibilita a criação de um conjunto menor de variáveis (fatores) obtidas como função das variáveis originais (TEIXEIRA et al., 2015). Além disso, é possível saber o quanto cada fator está associado a cada variável (fatores específicos) e o quanto o conjunto de fatores explica da variabilidade geral dos dados originais, ou seja, fatores comuns (FERREIRA et al., 2010).

Visando agrupar as variáveis correlacionadas aplicou-se ao conjunto de dados a análise de fatores. Tal metodologia tem como objetivos reduzir a dimensionalidade e descrever a

variabilidade dos dados por meio de variáveis latentes (fatores), de modo que essas novas variáveis (interpretáveis e não observáveis) sejam capazes de explicar a maior parte da variação total.

O modelo fatorial adotado para uma variável observável, com média pode ser representado da seguinte forma (JOHNSON & WICHERN, 2007; SILVA et al., 2014):

$$X_i - \mu_i = l_{i1}F_1 + l_{i2}F_2 + \dots + l_{im}F_m + \varepsilon_i$$

em que: $i = 1, 2, \dots, p$ e $m \leq p$, sendo p o número de variáveis originais observáveis; o coeficiente l_{ij} é chamado de carga fatorial da i -ésima variável sobre o j -ésimo fator comum, sendo: $i = 1, 2, \dots, m$; F_1, F_2, \dots, F_m são denominados fatores comuns, variáveis aleatórias inobserváveis e ε_i são os erros aleatórios que estão associados somente a i -ésima variável corrigida X_i , respectivamente.

O número de fatores foi definido considerando um percentual de explicação de 70% da variabilidade total, que segundo Ferreira et al. (2010) e Teixeira et al. (2015) é suficiente para a redução dos dados de maneira satisfatória.

A disposição das variáveis em cada fator foi feita através dos *loadings* l_{ij} , ou cargas fatoriais, que consistem na correlação entre cada variável e os respectivos fatores. Esses valores, assim como a correlação simples, variam entre -1 e 1 e, quanto maior carga fatorial (em módulo) mais correlacionada a variável será com o respectivo fator. Logo, as variáveis farão parte do fator ao qual estiverem mais correlacionadas (TEIXEIRA et al., 2015).

As comunalidades foram utilizadas para avaliar a proporção de cada variável explicada pelo fator a qual ela pertence e a proporção explicada pelo erro aleatório. Segundo (FILHO; JÚNIOR, 2011) tais valores devem ser superiores a 0,5. Finalmente, visando uma melhor interpretação da distribuição das variáveis nos respectivos fatores, utilizou-se a rotação Varimax (TEIXEIRA et al., 2015).

3.5. Estudo e organização da diversidade genética

3.5.1. Agrupamento de Tocher

Para estudo da diversidade entre indivíduos e, para fins de comparação da eficácia do processo de discriminação, empregaram-se, neste trabalho, diferentes métodos de agrupamentos baseados em técnicas multivariadas com base em uma matriz de dissimilaridade obtida conforme descrito a seguir.

Medida de dissimilaridade

As informações múltiplas de cada cultivar são expressas em medidas de dissimilaridade, que representam a diversidade existente no conjunto de acessos estudados. Para este caso foram utilizadas medidas de distâncias euclidianas médias que satisfaz todas as propriedades para que uma medida de distância seja considerada métrica. Essa distância é uma forma alternativa da distância euclidiana representada pela equação abaixo:

$$d_{ii'} = \sqrt{\frac{1}{v} \sum_j (Y_{ij} - Y_{i'j})^2}$$

Sendo “v” o número de características estudadas e Y_{ij} é o valor da j-ésima característica da qualidade de madeira mensurada no i-ésimo genótipo.

Método de agrupamento por otimização

Foi utilizado o método de agrupamento por otimização ou método de Tocher, apresentado em Cruz; Carneiro, (2006). O método de Tocher caracteriza por ser uma estratégia de agrupamento simultâneo, em que a separação dos genótipos em grupos é realizada de uma só vez. O método requer que seja identificado, na matriz de dissimilaridade, o par de genótipos mais similares e, então, formado o grupo inicial. A partir daí, é avaliada a possibilidade de inclusão de novos genótipos, adotando-se o critério de que a distância média intragrupo deve ser menor que a distância média intergrupo (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2011).

A entrada de um dos indivíduos em um grupo sempre aumenta o valor médio da distância dentro do grupo. Assim, pode se tomar a decisão de incluir um indivíduo em um grupo por meio da comparação entre o acréscimo no valor médio da distância dentro do grupo e um nível máximo permitido, que pode ser estabelecido arbitrariamente, ou adotar, como tem

sido geralmente feito, o valor máximo (θ) da medida de dissimilaridade encontrado no conjunto das menores distâncias envolvendo cada indivíduo.

Nesse caso, a distância entre o indivíduo k e o grupo formado pelos indivíduos ij é dada por:

$$d_{(ij)k} = d_{ik} + d_{jk}$$

Após a entrada de um indivíduo dentro do grupo, têm-se as seguintes informações:

Estágio	Número de Acessos	Número de distâncias	Total das distâncias
t	n	$n(n-1)/2$	$d_{(grupo)}$
$t+1$	$n'=n+1$	$(n+1)/2$	$d_{(grupo+k)} = d_{(grupo)} + d_{(grupo)k}$
Acréscimo		N	$d_{(grupo)k}$

A inclusão, ou não, do indivíduo k no grupo é, então, feita considerando que o acréscimo médio promovido pela inclusão de um genótipo k em um grupo previamente estabelecido seja menor que θ .

Se $\frac{d_{(grupo)k}}{n} \leq \theta$, inclui-se o indivíduo k no grupo;

Se $\frac{d_{(grupo)k}}{n} > \theta$, o indivíduo k não é incluído no grupo;

Sendo n o número de indivíduos que constitui o grupo original.

3.5.2. Diversidade e importância de variáveis por meio de componentes principais

A metodologia de componentes principais foi aplicada conforme descrito por Mingoti (2005) e Pontes (2016).

Os componentes principais são obtidos a partir da matriz de covariâncias e, por conta disso, sofrem influência das variáveis de maior variância, podendo ocorrer uma discrepância muito acentuada entre essas variâncias causada muitas vezes pela unidade de medida. Uma solução para evitar que este problema influencie nos resultados de agrupamento é a padronização dos dados. Em estatística, a padronização de uma variável refere-se a subtrair de cada valor a sua média e dividi-lo pelo seu desvio-padrão, e assim, os dados padronizados terão médias iguais a 0 e variâncias iguais a 1. Neste caso, os componentes principais são

obtidos a partir da matriz de covariâncias das variáveis originais padronizadas, o que equivale a extraírem-se os componentes principais utilizando-se a matriz de correlação $R_{p \times p}$ das variáveis originais dadas pela matriz X.

3.5.3. Mapas auto-organizáveis de Kohonen

Os mapas auto-organizáveis (*self organized maps* – SOM) foi proposto por Teuvo Kohonen, sendo considerada uma arquitetura de redes neurais artificiais. Este tipo de rede possui um modelo de treinamento competitivo, onde os neurônios competem entre si para ajustar seus respectivos pesos de forma não supervisionada. É muito aplicado na redução de dimensionalidade de base de dados, mas seu principal objetivo é agrupar dados semelhantes entre si, ou seja, clusterização de dados.

Para o entendimento sobre a organização da diversidade dos indivíduos estudados, foram avaliados diferentes mapas topológicos estabelecidos por meio da técnica de mapa auto-organizáveis de Kohonen (SOM). Para obter uma solução por meio das redes SOM primeiramente definiu-se o número de neurônios e dimensões da rede. Nesse trabalho foram consideradas três diferentes topologias admitindo uma rede de duas dimensões, para que fosse escolhido, de acordo com cada critério de inferência sobre a diversidade, qual o melhor mapa para representar a organização da diversidade. São eles:

- Dois neurônios em cada dimensão, disposição 2x2, vizinhança igual a um e distância Euclidiana;
- Quatro neurônios em cada dimensão, disposição 4x4, vizinhança igual a dois e distância Euclidiana;
- Seis neurônios em cada dimensão, disposição 6x6, vizinhança igual a um e distância Euclidiana;

Foi escolhida a topologia que permitia uma melhor visualização e separação dos grupos. Logo após, avaliou-se as características tecnológicas e de crescimento dos grupos.

3.5.4. Programas e software utilizados

Todas as análises foram realizadas utilizando o Programa Genes (CRUZ, 2016), versão 2018. Para os mapas auto organizáveis de kohonen usou-se o software Matlab por interface doo Programa Genes.

4. Resultados e Discussão

4.1. Potencial da população de eucalipto com base em características silviculturais e tecnológicas da madeira

Avaliaram-se no total de quinze caracteres, onze relacionadas às propriedades tecnológicas da madeira e quatro ao crescimento volumétrico da árvore, de 87 indivíduos oriundos de um teste de progênie. As características avaliadas foram: rendimento total de polpa celulósica, teores de cinzas, teores de extrativos em acetona, teores de extrativos em água, teores de extrativos totais, teores de pentosanas, lignina klason, lignina total, holocelulose, densidade básica, número kappa, DAP, altura, volume individual e IMA (Incremento Médio Anual).

Os resultados da análise descritiva das características de crescimento do *E. benthamii* estão apresentados na Tabela 6. Já para as testemunhas, *E. saligna*, *E. grandis* e *E. dunnii*, os resultados estão apresentados nas tabelas 7, respectivamente. Nesta análise preliminar são fornecidas informações sobre o potencial da população, em termos de médias, máximo e mínimo, e de sua variabilidade, em termos de variância, amplitudes e coeficiente de variação.

Tabela 6 – Potencial expresso por meio de média e variabilidade, para característica de crescimento da madeira, da população de eucalipto estudada representada por 75 indivíduos de *E. benthamii*.

Características	Média	Mínimo	Máximo	CV	Variância	DP	Amplitude
DAP	14,285	8,440	20,750	20,620	8,677	2,946	12,310
H	17,190	5,600	22,100	17,566	9,118	3,020	16,500
VOL	0,136	0,016	0,315	51,632	0,005	0,070	0,299
IMA	40,733	4,720	94,530	51,628	442,254	21,030	89,810

DAP: Diâmetro a 1,30 metros o solo; H: Altura Total; Vol: Volume; IMA: Incremento Médio Anual

Primeiramente será descrito o potencial e particularidades, para os indivíduos de *E. benthamii* em estudo, para as características silviculturais da madeira. O DAP (Diâmetro a 1,30 metros de altura do solo) é uma informação de fácil aquisição e que é obtida diretamente no campo através de fita métrica, por exemplo. O conjunto de indivíduos analisados aos quatro anos de idade apresentou média de 14.285 metros, com variação entre 8.440 e 20,750 metros e amplitude dos dados de 12,310 metros. É uma variação que pode ser considerada alta, o que já era esperado, pois este material é oriundo de um teste de progênie e há também acessos de outras três espécies que foram utilizadas como testemunhas no conjunto

populacional estudado. Esta alta variação mostra que o crescimento das árvores está diretamente influenciado a fatores genéticos das espécies interagindo com os fatores ambientais como os climáticos, de solo, topográfico e de competição (FINGER 1992).

A altura da árvore também é obtida em campo através do instrumento hipsômetro, por exemplo. As dificuldades e os erros de mensurações dessa técnica fazem com que apenas algumas árvores sejam diretamente medidas no campo e o restante das informações são geradas por estimação. No grupo de indivíduos em estudo, a média de altura foi de 17,190 metros, com variações entre 5,600 e 22,10 metros. Essa variação é alta, com amplitude de 16,5 metros, e, assim como o DAP, a altura também é influenciada por diversos fatores além dos já citados, por exemplo, a resposta à adubação (ANDRADE; ANGELO, 2016).

O volume foi calculado de acordo com a fórmula de Schumacher e Hall (1933), definida no material e métodos. É uma característica dependente dos valores de DAP e altura. A média dos volumes foi de 0,136 m³ com variação entre 0,016 e 0,315m³. Assim como as características já citadas a variação foi alta, mostrando a alta diferenciação dos materiais presentes no conjunto de indivíduos. Como o volume é uma dependente do DAP e altura também sofre influencia dos mesmos fatores.

O IMA (Incremento médio anual), importante parâmetro para os melhoristas e para caracterização do crescimento anual da floresta, teve em média 40,733 m³/ha.ano. Apresentando uma amplitude de 89,81 m³/ha.ano. Como descrito na formula, o IMA é dependente do volume, sofrendo as influencias dos mesmos fatores. GOMIDE et al. (2005, avaliando materiais de diversas empresas nacionais, consideraram que IMA acima de 40 m³/ha.ano é classificado como material de alta produtividade.

No geral, para as características de crescimento da madeira, percebe-se que a população apresenta bom potencial médio associado à alta variabilidade tendo-se perspectivas de que esforços aplicados por meio do melhoramento serão recompensados por ganhos genéticos. Nas tabelas 7 estão os materiais usados como testemunhas sendo estes o *E. saligna*, *E. grandis* e o *E. dunnii*. Essas espécies possuem um tempo maior de melhoramento em comparação com o *E. benthamii*. Em média, os valores do *E. benthamii* foram superiores ao do *E. saligna*. Já para as outras duas espécies este apresentou resultados inferiores, na média. Quando se refere a amplitude, o *E. benthamii* apresentou-se superior aos demais, mostrando um maior variabilidade. Confirmando a possibilidade de ganhos genéticos para estas características nesta população.

Tabela 7 - Potencial expresso por meio de média e variabilidade, para característica de crescimento da madeira, da população de eucalipto estudada representada por 4 indivíduos de *E. saligna*, 4 de *E. grandis* e 4 de *E. dunnii*.

<i>E. saligna</i>							
Características	Média	Mínimo	Máximo	CV	Variância	DP	Amplitude
DAP	11,778	8,440	17,790	34,980	16,973	4,120	9,350
H	16,300	12,300	20,900	21,696	12,507	3,537	8,600
VOL	0,097	0,031	0,234	95,223	0,009	0,092	0,203
IMA	29,115	9,280	70,160	95,199	768,236	27,717	60,880
<i>E. grandis</i>							
Características	Média	Mínimo	Máximo	CV	Variância	DP	Amplitude
DAP	16,178	11,300	19,030	21,430	12,019	3,467	7,730
H	19,150	17,400	21,400	9,307	3,177	1,782	4,000
VOL	0,187	0,079	0,252	44,139	0,007	0,083	0,174
IMA	56,160	23,560	75,680	44,132	614,278	24,785	52,120
<i>E. dunnii</i>							
Características	Média	Mínimo	Máximo	CV	Variância	DP	Amplitude
DAP	15,073	10,440	18,400	22,230	11,227	3,351	7,960
H	18,325	15,000	20,300	12,932	5,616	2,370	5,300
VOL	0,158	0,058	0,236	46,774	0,005	0,074	0,178
IMA	47,263	17,340	70,700	46,769	488,585	22,104	53,360

DAP: Diâmetro a 1,30 metros o solo; H: Altura Total; Vol: Volume; IMA: Incremento Médio Anual

No estudo das médias e variabilidade das características tecnológicas da madeira da população o rendimento da polpa teve uma média de 48,984 %, variando de 42,600 a 52,800% (Tabela 7). Esta é uma característica importante na produção de polpa sendo afetada no processo de polpação kraft pela carga alcalina aplicada, a sulfidez, o tempo e a temperatura de cozimento (PAULA, 2017; SILVA, 1996 citado por GARCIA, 1998). O elevado rendimento, normalmente acima de 50%, de um determinado acesso, ou população, pode ser explicado pelas características favoráveis da madeira que apresentam baixos valores de densidade básica, de extrativos, de lignina, de ácidos urônicos, de grupos acetila e altos teores de celulose e de relação siringil/guaiacil (MAGATON et al., 2009). Em contrapartida, os que apresentam baixo rendimento são explicado por características desfavoráveis da madeira (GOMIDE et al., 2005).

Tabela 8 - Valores médios para característica da qualidade da madeira para a população de eucalipto estudada representada por 75 indivíduos de *E. benthamii*.

Características	Média	Mínimo	Máximo	CV	Variância	DP	Amplitude
Rendimento	48,984	42,600	52,800	4,123	4,079	2,020	10,200
Cinzas	0,555	0,290	2,510	51,134	0,080	0,284	2,220
Extrativo em acetato	1,008	0,290	1,970	34,804	0,123	0,351	1,680
Extrativos em água	2,645	0,200	6,720	25,911	0,470	0,685	6,520
Extrativos totais	3,652	1,380	7,550	22,177	0,656	0,801	6,170
Pentosanas	16,719	12,660	22,010	15,270	6,518	2,553	9,350
Lignina klason	27,752	24,600	30,710	4,599	1,629	1,276	6,110
Lignina Total	31,322	28,110	34,400	4,010	1,578	1,256	6,290
Holocelulose	64,843	56,200	68,200	2,864	3,449	1,857	12,000
Densidade básica	414,707	357	491	7,186	888,129	29,801	134
Número Kappa	18,803	15,700	23,600	9,513	3,199	1,789	7,900

Outra variável é o teor de cinzas que apresentou média de 0,555%, variando 0,290 a 2,510%, sendo de baixa magnitude. O conhecimento desses minerais da madeira é importante tendo em vista que suas presenças são prejudiciais ao processo de polpação causando corrosão, e incrustações em equipamentos, reduzindo o poder calorífico e diminuição na produtividade fabril (JARDIM et al., 2017). Apesar disso, em geral, para MOREIRA (2006) as quantidades de inorgânicos em *Eucalyptus* são baixas e aceitáveis nas variadas aplicações. Adicionalmente, os teores de cinza tendem a diminuir com o envelhecimento devido à baixa taxa de deposição em função do tempo (MORAIS, 2008).

Os teores de extrativos totais podem ser subdivididos em extrativos em acetona e extrativos em água. No material analisado foi observado variação de 3,652 a 7,550%, sendo considerada uma alta amplitude, 6,520%. De acordo com Gomide et al. (2005), clones com altos teores de extrativos deverão apresentar baixos rendimento de polpação. Segundo o mesmo autor, a remoção dos extrativos pode causar uma perda de 4% no rendimento de polpa. O rápido crescimento das árvores de *Eucalyptus* possibilita baixa quantidade de extrativos totais além de sua idade de corte ser baixa (MAGATON et al., 2009). De forma geral, o problema dessa variável está relacionado à sua viscosidade e aderência aos equipamentos, necessitando paradas destes para limpeza (JARDIM et al., 2017). De acordo com estes mesmos autores, valores de extrativos entre 1,9% e 4,9% são admissíveis.

A característica teores de pentosanas variou entre 12,660% a 22,010%, com média 16,719 %. A importância no teor de pentosanas da madeira no processo de polpação está ligada à relevância do teor de hemiceluloses (GARCIA, 1998). O termo pentosana é aplicado

às hemiceluloses cujas unidades têm apenas 5 carbonos, sendo polissacarídeos não celulósicos presentes na madeira e constituídos de xilanas e arabinanas. As hemiceluloses contribuem para o rendimento e apresentam reações benéficas interfibras e na resistência da polpa celulósica (SOUZA, 2016). Além disso, está relacionada com a deslignificação da madeira, pois, segundo estudo de SILVA (1996) citado por Garcia, (1998), com o aumento de cargas alcalinas para esse processo maior o número de pentosanas e vice-versa. Conforme Gomes et al., (2008), a maior parte dos processos de obtenção de polpa celulósica busca remover o mínimo possível desse material em virtude de sua qualidade desejáveis. De acordo com COSTA (2011) essa característica facilita também a refinação das fibras e na interação de produtos químicos adicionados no processo de fabricação do papel. Assim, materiais com altos teores de pentosanas são desejáveis no processo de polpação.

Outra característica para a avaliação da qualidade da madeira é a lignina. Para a produção de polpa celulósica é um constituinte indesejável, os processos de cozimento e branqueamento visam remover a maior parte possível da lignina, causando baixos danos possíveis às fibras. Neste estudo, os teores de lignina total variaram de 28,110 até 34,400 %, já os de lignina Klason, lignina que apresenta estrutura química menos resistente à degradação e solubilização, variou de 24,600 a 30,710%. Esse tipo de lignina, possivelmente, pode ser mais facilmente removido durante o cozimento alcalino Kraft. Gomes et al., (2008) encontraram valores entre 27,900% e 31,300%, sendo considerado aceitável, no entanto, para a produção de celulose é desejável o menor teor de lignina possível e alta relação S/G. O teor de lignina é importante para o desempenho da polpação, pois a presença de compostos fenólicos tende a aumentar o consumo de reagentes químicos durante o processo de cozimento e a reduzir o rendimento (SOUZA, 2016).

A holocelulose refere-se à combinação entre dos teores de celulose e hemicelulose. Esta característica constituiu, em média, 64,843% do peso da madeira, apresentando ampla variabilidade, desde 56,200% a 68,200%, no material avaliado. Para produção de celulose, quanto maior o teor de holocelulose, maior o rendimento e qualidade da polpa, já para a produção do carvão vegetal ocorrem o contrário (PROTASIO et al., 2012).

A densidade básica da madeira representa o somatório de diversas características da madeira, sendo difícil estabelecer correlações perfeitas que envolvem resultados de produção de celulose (GOMIDE et al., 2005). Essa é uma característica de importância para o uso de madeira para uso da celulose, pois afeta os custos de colheita, transporte e utilização (JARDIM et al., 2017). No conjunto de indivíduos em análise, a média para essa característica

foi de 414,707 kg/m³, variando de 357 a 491 kg/m³. Valores densidade em torno de 500 kg/m³ são considerados satisfatórios segundo Gomide et al., (2005). Essa vantagem está associada a baixos valores de cargas alcalinas, com reflexos no rendimento e viscosidade da polpa celulósica.

O número kappa é uma característica relevante no cozimento, sendo definido como o número de mililitros de solução de permanganato de potássio 0,1 N consumido por um grama de pasta de celulose absolutamente seca, sob condições específicas, e corrigidas para um consumo relativo de 50% de permanganato (D'ALMEIDA, 1988). Na Tabela 5 pode-se observar variação entre 15,700% e 23,600%, com média 18,803. VENTORIM et al. (2006), em trabalho estudando variações no número kappa, concluíram que: a) a redução desse número durante a deslignificação com oxigênio varia entre polpas, as eficiências; b) as eficiências de redução no número kappa foram diferentes nos cinco clones avaliados; c) a eficiência de deslignificação foi maior para números de kappa mais elevados; e d) o tipo de madeira e a respectiva polpa tem efeito significativo no branqueamento com oxigênio e peróxido, mas pouco efeito no branqueamento com ozônio.

Assim como nas características de crescimento, utilizou-se três espécies como testemunhas, sendo cada representada com 4 indivíduos. Nas tabelas 9, 10 e 11 estão os parâmetros para as espécies *E. saligna*, *E. grandis* e *E. dunnii*, respectivamente.

Em relação à média, na tabela 9, o *E. saligna* foi superior ao *E. benthamii* nas características de Rendimento, pentosanas, holoceluloses, densidade básica e número kappa. Quanto a amplitude dos dados e isso reflete na variância, o *E. benthamii* se mostrou superior em comparação com esse mesmo material.

Tabela 9 - Valores médios para característica da qualidade da madeira para a população de eucalipto estudada representada por 4 indivíduos de *E. saligna*.

Características	Média	Mínimo	Máximo	CV	Variância	DP	Amplitude
Rendimento	51,675	48,700	54,200	4,400	5,1692	2,274	5,500
Cinzas	0,4475	0,330	0,540	20,753	0,0086	0,093	0,210
Extrativo em acetato	0,655	0,570	0,780	13,909	0,0083	0,091	0,210
Extrativos em água	1,592	0,020	2,530	69,105	1,2111	1,100	2,510
Extrativos totais	2,250	0,670	3,320	50,496	1,2909	1,136	2,650
Pentosanas	18,290	13,950	19,800	15,822	8,3742	2,894	5,850
Lignina klason	26,930	24,850	28,770	5,968	2,5827	1,607	3,920
Lignina Total	30,290	27,910	32,160	5,834	3,1225	1,767	4,250
Holocelulose	66,650	65,100	69,800	3,242	4,670	2,161	4,700
Densidade básica	420	395	446	5,227	482	21,954	51
Número Kappa	19,375	17,400	23,000	12,799	6,1492	2,480	5,600

Em relação à média, na tabela 10, o *E. grandis* foi superior ao *E. benthamii* nas características de Rendimento, lignina klason, lignina total e holocelulose. Quanto a amplitude dos dados e isso reflete na variância, o *E. benthamii* se mostrou superior em quase todas as características, exceto, Lignina Klason e lignina total.

Tabela 10 - Valores médios para característica da qualidade da madeira para a população de eucalipto estudada representada por 4 indivíduos de *E. grandis*.

Características	Média	Mínimo	Máximo	CV	Variância	DP	Amplitude
Rendimento	52,675	51,400	54,100	2,150	1,282	1,132	2,700
Cinzas	0,4175	0,300	0,530	23,822	0,010	0,099	0,230
Extrativo em acetato	0,600	0,500	0,710	16,832	0,010	0,101	0,210
Extrativos em água	2,572	2,060	3,040	15,817	0,166	0,407	0,980
Extrativos totais	3,175	2,560	3,570	13,662	0,188	0,434	1,010
Pentosanas	16,605	13,310	19,450	19,875	10,892	3,300	6,140
Lignina klason	28,030	24,920	34,300	15,636	19,208	4,383	9,380
Lignina Total	31,575	29	36,770	11,478	13,135	3,624	7,770
Holocelulose	65,250	59,900	68,400	5,875	14,697	3,834	8,500
Densidade básica	373,250	349	415	7,729	832,250	28,849	66
Número Kappa	18	17,600	18,400	2,029	0,133	0,365	0,800

Em relação à média, na tabela 11, o *E. dunnii* foi superior ao *E. benthamii* nas características de Rendimento, teores de cinza, extrativos em água, pentosanas, holocelulose e densidade básica. Quanto a amplitude dos dados e isso reflete na variância, o *E. benthamii* foi superior ao *E. dunnii*.

Assim, o *E. benthamii* tem grande possibilidades de ganhos devido sua amplitude e variância dos dados ser maior em relação ao demais.

Tabela 11 - Valores médios para característica da qualidade da madeira para a população de eucalipto estudada representada por 4 indivíduos de *E. dunnii*.

Características	Média	Mínimo	Máximo	CV	Variância	DP	Amplitude
Rendimento	52,025	50,500	53,500	3,275	2,902	1,704	3
Cinzas	0,600	0,540	0,710	12,981	0,006	0,078	0,170
Extrativo em acetato	0,657	0,450	0,810	26,961	0,031	0,177	0,360
Extrativos em água	2,710	2,340	3,560	21,066	0,326	0,571	1,220
Extrativos totais	3,367	2,880	4,370	20,683	0,485	0,696	1,490
Pentosanas	17,570	13,710	20,090	17,377	9,325	3,054	6,380
Lignina klason	23,670	22,870	24,320	2,993	0,502	0,709	1,450
Lignina Total	27,858	27,350	29,250	3,336	0,864	0,929	1,900
Holocelulose	68,775	66,400	69,700	2,318	2,542	1,594	3,300
Densidade básica	444,500	400	502	10,341	2113	45,968	102
Número Kappa	18,500	17,100	19,900	6,561	1,473	1,214	2,800

É importante compreendermos que variações na qualidade da madeira podem afetar significativamente o processo fabril industrial, desde a produção do digestor e o desempenho da caldeira de recuperação até a qualidade da polpa celulósica (GOMIDE; NETO; REGAZZI, 2010).

O potencial de uma população e a diferenciação entre acessos que a compõe são aspectos de grande importância no melhoramento genético nas etapas iniciais norteando estratégias de seleção e predizendo o sucesso que poderá ocorrer pelo emprego dos esforços de tempo e mão-de-obra e recursos financeiros em técnicas seletivas. Como o desempenho da população é determinado por fatores genéticos e ambientais, também será possível prever aspectos relativos à adaptação e evolução de indivíduos ou de grupos de acesso que constituem a população. Deve-se ter em mente que o potencial da população reflete a concentração de alelos favoráveis que ela possui e diversidade pode explicada pela ação de fatores como seleção, fluxo gênico, amostragem e outros, que demandam estratégias de acordo com o problema. Assim, conhecer de forma acurada o potencial e a diversidade do material utilizado se torna de grande importância para uma boa tomada de decisão (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2011).

4.2.Associação entre características silviculturais e tecnológicas da madeira

A população estudada, como visto na abordagem anterior, apresenta bom potencial para ser explorado por técnicas seletivas tendo em vista o patamar médio favorável que já atingiu para as várias características estudadas e pela variabilidade manifestada em termos de amplitude de variação. Entretanto, sabe-se que o melhoramento deve ser conduzido tendo em vista o bom desempenho para um conjunto de características e que mudanças em uma, ou poucas características, pode provocar mudanças indesejáveis em outras. Adicionalmente, em cada grupo de características podem ser destacadas algumas de maior interesse econômico ou silvicultural, geralmente complexas ou de maior dificuldade de medição, e características auxiliares que poderiam ser úteis para fins de seleção indireta ou correlacionada. Desta forma, serão abordados, a seguir, as associações mais relevantes entre características tendo em vista as estimativas de correlações obtidas.

São apresentadas as estimativas de correlações significativas entre as variáveis em estudos na Tabela 8 sendo cerca de 34,90% foram significativas. Dentre essas podemos destacar algumas que estão correlacionadas com a maioria e que são importantes no processo seletivo. A maior correlação encontrada foi entre volume e IMA, o que era esperado, visto que esta última é dependente do volume. Além disso, as características silviculturais foram altamente correlacionadas entre si, como podemos observar na Tabela 8. Das relações significativas, vale ressaltar a correlação entre lignina total e holocelulose foi negativa de 76,22 %. Dentro os maiores constituintes da madeira estão as celuloses, lignina e hemicelulose, sendo holocelulose o somatório de celulose mais hemicelulose. Justificando assim essa correlação entre essas características.

Tabela 12 - Estimativas de correlações significativas entre característica de qualidade da madeira e silviculturais mensuradas em populações de *Eucalyptus*.

Variáveis	Correlação	Probabilidade	
Rendimento x Extrativos em Acetona	-0,4478	0,0088	**
Rendimento x Extrativos em Água	-0,2351	4,0024	*
Rendimento x Extrativos totais	-0,3936	0,0582	**
Rendimento x Pentosanas	-0,2249	4,9618	*
Rendimento x Lignina Klason	-0,5083	0,0008	**
Rendimento x Lignina Total	-0,5711	0	**
Rendimento x Holocelulose	0,6146	0	**
Rendimento x Densidade Básica	0,4511	0,0078	**
Rendimento x DAP	0,2318	4,2972	*
Rendimento x Altura	0,3987	0,0493	**
Rendimento x Volume	0,3479	0,236	**
Rendimento x IMA	0,3479	0,2358	**
Cinzas x Lignina Klason	0,2926	1,0509	*
Cinzas x Densidade Básica	-0,2255	4,9069	*
Extrativos em Acetona x Extrativos Totais	0,5435	0,0002	**
Extrativos em Acetona x Holocelulose	-0,3903	0,0646	**
Extrativos em Acetona x Holocelulose	0,9031	0	**
Extrativos totais x Holocelulose	-0,3125	0,6285	**
Pentosanas x DAP	-0,2328	4,2062	*
Pentosanas x Altura	-0,2562	2,5161	*
Pentosanas x Volume	-0,2537	2,6594	*
Pentosanas x IMA	-0,2537	2,6582	*
Lignina klason x Lignina Total	0,9034	0	**
Lignina klason x Holocelulose	-0,5061	0,0009	**
Lignina Total x Densidade Básica	-0,2438	3,3166	*
Lignina Total x Holocelulose	-0,6266	0	**
Lignina Total x Densidade Básica	-0,2702	1,818	*
Holocelulose x Densidade Básica	0,2897	1,1304	*
Densidade Básica x DAP	0,3588	0,1714	**
Densidade Básica x Altura	0,3643	0,1455	**
Densidade Básica x Volume	0,382	0,0842	**
Densidade Básica x IMA	0,382	0,0841	**
DAP x Altura	0,7389	0	**
DAP x Volume	0,9673	0	**
DAP x IMA	0,9673	0	**
Altura x Volume	0,821	0	**
Altura x IMA	0,821	0	**
Volume x IMA	1	0	**

DAP: Diâmetro na altura do Peito; IMA: Incremento Médio Anual

O rendimento de polpa foi a que mais se correlacionou com as demais, 80,00 % das variáveis, com os extrativos em acetona, em água e totais, lignina Klason e total, holocelulose, densidade básica, DAP, altura, volume e IMA. Na etapa de polpação, a avaliação do rendimento do processo pode ser considerada como o principal parâmetro de qualidade do material, uma vez que está diretamente relacionado com as estruturas anatômica e química, demanda de carga alcalina, produção do digestor e carga de sólidos para a caldeira de recuperação (GOMIDE; NETO; REGAZZI, 2010; SEGURA et al., 2017). O rendimento de polpa é frequentemente usado para definir a qualidade da madeira quando o foco é a produção de baixo custo, isto é justificado pelo fato desta combinar vários efeitos das características da madeira em apenas um parâmetro (MAGATON et al., 2009). No entanto, para esses mesmos autores, o rendimento de polpa por si só não deve ser considerado uma característica da madeira, pois esta é influenciada pela técnica de polpação, número kappa, entre outros processos.

A densidade básica é outra característica importante para os processos de polpação e outros produtos da madeira. Ela é a quantificação direta do material lenhoso por unidade de volume, estando relacionada com as propriedades e características tecnológicas da madeira (ALVES et al., 2011). Do estudo de correlação pode-se observar que foi relacionada com rendimento de polpa, cinzas, lignina total, holocelulose e com todas as características de crescimento da madeira. Para a produção de celulose é desejável madeira com densidade uniforme devido à velocidade de impregnação e de deslignificação dos cavacos serem influenciada pela massa específica (ALVES et al., 2011). Diversos fatores podem provocar uma variação na densidade básica no gênero *Eucalyptus*, como: taxa de crescimento, vigor, local de crescimento da árvore e até estruturas ou órgãos diferenciadas do próprio material (BATISTA; KLITZKE; SANTOS, 2010). Lignina é uma variável de grande importância no processo de polpação da celulose, visto que o que se busca é retirá-la nesse processo. No presente estudo, os teores de lignina se correlacionaram com variável muito importante, como holocelulose (celulose e hemicelulose) e rendimento, de forma negativa. Na maioria das vezes, espera-se que o teor de lignina seja negativamente correlacionado com rendimento de polpa, o que ocorreu no caso (Tabela 8), no entanto isso nem sempre é verdadeiro (MAGATON et al., 2011). Trabalho de Gomes et al., (2008) mostraram que isso pode ocorrer, ou seja, associação positiva entre lignina e rendimento de polpa. Esses resultados inesperados são justificados pelo fato de que nos anos iniciais há pouca lignina e vai aumentando esse percentual com o passar dos anos (MAGATON et al., 2011).

Quanto às características de crescimento, estas foram altamente correlacionadas. Como o volume é dependente do DAP e da altura e, além disso, o IMA depende do volume á era de se esperar a ocorrência desse resultado. Esse resultado deve-se ao fato do volume ser função quadrática do DAP e do IMA ser em função do volume, corroborando com NUNES et al., 2016. Resultados similares foram encontrados por Verma; Sharma, (2011), Luna; Singh, (2009) e Behera et al., (2017). Assim, como nesse trabalho, foram encontradas correlações positivas entres as características de crescimento da madeira. A alta correlação positiva entre as características indicam que o melhoramento de uma característica pode ser acompanhada com o melhoramento de outra (BEHERA et al., 2017). Além disso, esses autores citaram diversos outros trabalhos com diferentes espécies que também possuem comportamento semelhante. Essa correlação torna possível a pratica de seleção indireta visando ganhos em volume e IMA, por meio do caráter DAP (NUNES et al., 2016). Além disso, evitam-se erros na medição da altura provocada por diversos fatores (COUTO; BASTOS, 1988).

Os teores de extrativos se correlacionaram com diversas variáveis, algumas de forma positiva e outras negativas. No geral, para o processo polpação esperam-se baixos valores dessas características e as correlações com o rendimento não são muito significativas (MAGATON et al., 2011).

As correlações entre as 15 variáveis em estudo foram representadas graficamente (Figura 2) em pares de características mensuradas. Na parte superior, podemos observar todas as correlações entre as variáveis, independentes se estas são significativas ou não. Na diagonal principal estão presentes as distribuições das características. Na parte inferior são observadas as distribuições das características correlacionadas, de forma que em algumas podemos ver uma tendência bem definida e em outras não observamos o mesmo.

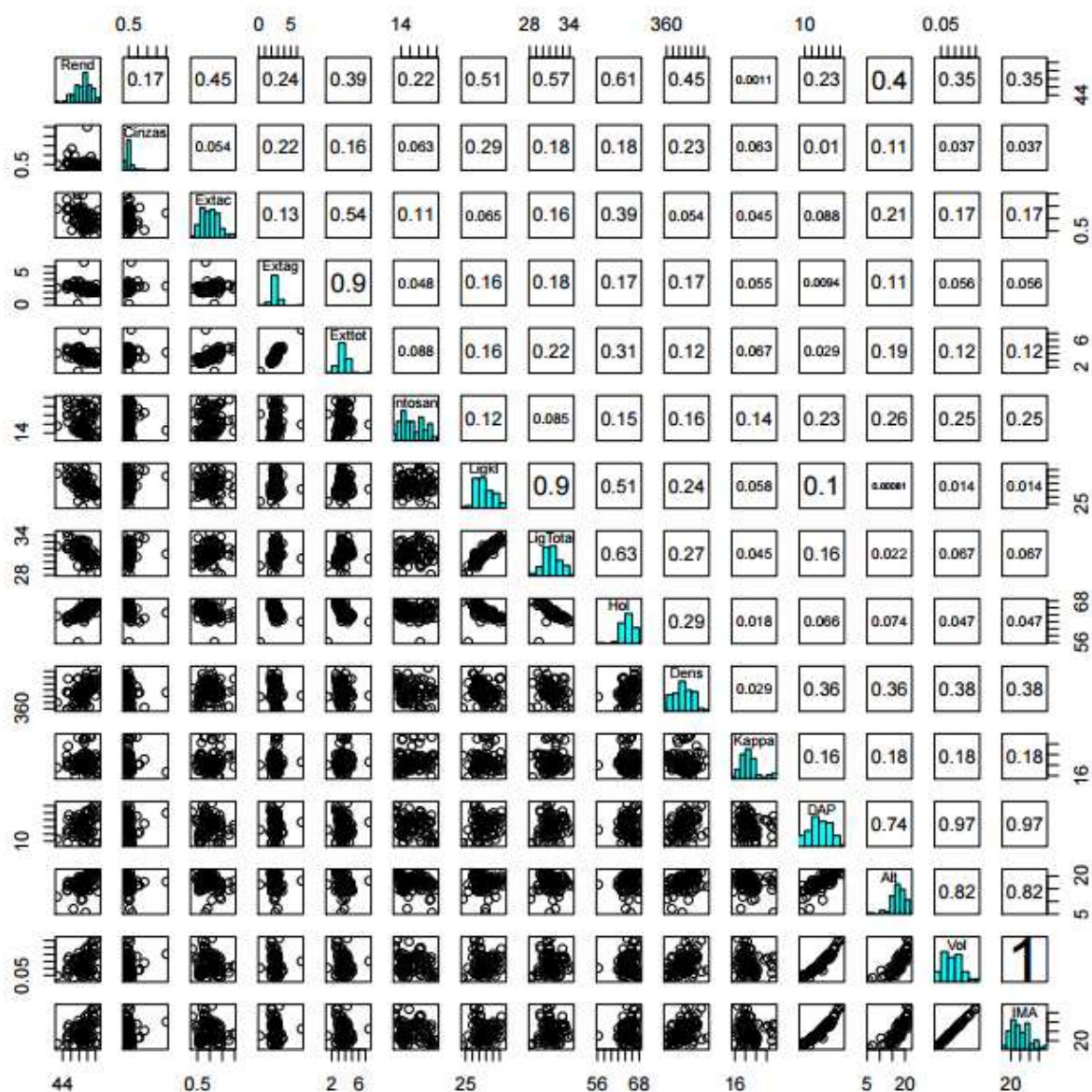
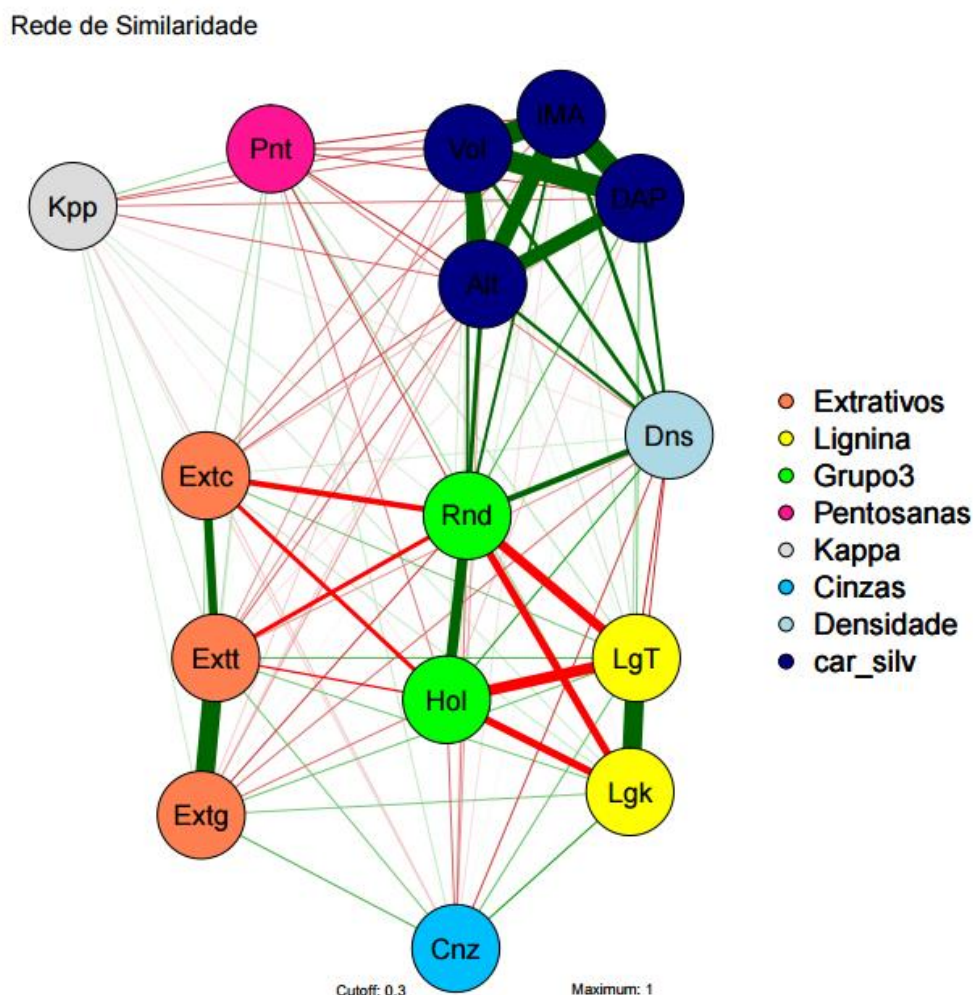


Figura 2 - Estimativas de correlações e padrões de dispersões de característica silviculturais de qualidade de madeira mensuradas em população de *Eucalyptus*.

Uma visão mais globalizada das associações entre as características mensuradas é fornecida pela técnica de biométrica denominada de rede de correlações. Por meio de uma rede de conexão é possível obter associações entre grupos de interesses de variáveis que devem contemplar fatores genéticos comuns e que podem ser efetivamente utilizadas em estudos de sistema de causa e efeito permitindo, ao melhorista, prever as consequências de sua ação direta sobre algumas variáveis sobre outras não diretamente consideradas na seleção. Para permitir este tipo de análise é apresentada a Figura 3 em que se definiu a rede de correlação entre as características tecnológicas e de crescimento da madeira. Verifica-se que

esta rede permite melhor visualização entre as variáveis em especial quando é possível separá-las, previamente, de acordo com o conhecimento da biologia e da química, em grupos. Neste estudo, alguns grupos foram destacados para fins de melhor interpretação.



car_silv: características Silviculturais

Figura 3 - Rede de correlação entre as características silviculturais e de qualidade de madeira mensuradas em população de *Eucalyptus*.

O rendimento de polpa é o produto final em um processo de polpação, assim muita atenção é dada a essa característica, principalmente no que se refere ao setor industrial. Isto ocorre pelo fato desse parâmetro ser a combinação de vários parâmetros da madeira em uma única variável (MAGATON et al., 2009). Na Figura 3, podemos observar essa combinação entre essa característica com as demais, havendo correlações positivas e negativas. Como serão descritas, essas correlações estão de acordo com o que se possui na literatura, mostrando as diversas contribuições das demais variáveis no rendimento de polpa.

O primeiro grupo a ser destacado na rede foi denominado de extrativos, onde se agruparam os três tipos de extrativos: extrativos totais, extrativos em água e extrativos em acetona. Pela rede de correlação, pode-se verificar uma alta correlação positiva entre extrativos totais com os demais, como mencionado anteriormente os extrativos totais é o somatório dos extrativos em água mais o extrativo em acetona. Além disso, pela tabela 6 pode-se confirmar a significância das correlações entre extrativos totais com os outros dois tipos de extrativos. MAGATON et al. (2009) observaram negativo impacto dos extrativos totais no rendimento de polpa, mesmo que não relevante. Já para os extrativos em acetona, este mesmo autor, encontrou uma correlação negativa significativa com o rendimento de polpa. Ao observamos a rede de correlação (Figura 3), isso pode ser evidenciado.

O segundo grupo destacado na rede de correlações foi o da lignina, constituído pela lignina klason e lignina Total. Para a polpação de celulose é sabido que este é um componente indesejável visto que influencia negativamente no rendimento (FOELKEL 2013). Isso é observado na Rede e, além disso, pode-se observar que estas duas são fortemente correlacionadas, além de possuírem uma correlação significativa (Tabela 12). Essa correlação era esperada, pois a lignina klason é parte da lignina total.

O grupo 3 é definido pelo rendimento de polpa e holocelulose. Analisando a Tabela 6 observamos que foi estimada uma correlação positiva e significativa. A característica holocelulose é o somatório da celulose e hemicelulose, que são os maiores constituintes do rendimento de polpa, altamente correlacionados (GOMIDE et al., 2005). Pela rede de correlação, os componentes desse grupo são altamente correlacionados entre si e estes são negativamente correlacionados com extrativos e as ligninas.

O quarto grupo é formado pela união das quatro características de crescimento da madeira: DAP, altura, volume e IMA. Como mencionado no tópico anterior, essas características são altamente correlacionadas, o que foi demonstrado claramente pela rede de correlação.

As relações entre os grupos podem ser bem definidos quando analisamos as correlações entre eles. Ao analisarmos o grupo extrativo, todas as variáveis que o constituem se correlacionam negativamente com as variáveis do grupo 3. E as características deste último se correlacionam negativamente com o grupo da lignina. Além desses, as características de crescimento da madeira foram altamente correlacionadas entre si, separando-as dos demais grupos. Dessa forma, a rede de correlações facilitou a compreensão e as análises de correlações dentro e entre os grupos de características estudadas. DA SILVA et al. (2016)

trabalhando com pimenta (*Capsicum* spp.), também observaram eficácia na seleção de genótipos por redes de correlações tanta à característica relacionada individualmente quando a grupos de características.

As demais características não foram correlacionadas devido ao fato de não estarem ligação química ou biologicamente quanto às demais, evidenciado pelas fracas correlações. A rede de similaridade auxiliou muito no entendimento das correlações entre as características (descritas na Tabela 12) sendo que os resultados corroboraram com os encontrados na literatura, no entanto, encontrados de forma mais pontual. Dessa maneira os 87 indivíduos estão representando bem as relações características.

4.3. Desempenho de acessos de uma população de *Eucalyptus*.

Tendo em vista o potencial da população para fins de melhoramento torna-se desejável identificar indivíduos (ou acessos) que se destacaram para um ou várias características, ou para um ou vários complexos de características estabelecidos estatisticamente, mas que preservam uma interpretação biológica. Novamente, destacamos o fato de que foram avaliados 15 caracteres dos quais 11 são relacionados com a qualidade da madeira e 4 com o crescimento da madeira, em 87 indivíduos que formam a população de interesse. A simplificação estrutural das informações em complexos com interpretação biológica pode ser obtida por meio da técnica multivariada denominada de análise de fatores. Procura-se nesta análise identificar quantos e quais fatores comuns, responsáveis pela explicação da variação das variáveis, dar uma interpretação biológica a estes fatores, e finalmente, em gráficos de dispersão identificar desempenho dos indivíduos pelo posicionamento dos mesmos em gráficos de dispersão usualmente feitos com escores de pares de fatores representativos dos complexos biológicos que se deseja inferir.

O princípio da análise de fatores, descrita por Johnson & Wichern (1992), é fazer uma rotação dos fatores e de forma a obter cargas fatoriais. Valores de cargas fatoriais maiores ou iguais a 0,7 e de sinal positivo indicam variáveis com altas correlações dentro de cada fator, possibilitando a formação de grupos. Valores entre 0,5 e 0,7 não garantem nenhuma definição na formação de grupos de genótipos, e valores abaixo de 0,5 indicam a impossibilidade de formação de grupos semelhantes genótipos (CARVALHO et al., 2014).

Primeiramente foi realizado pelo software GENES análise de componentes principais para definir o número de fatores que seriam utilizados. Foi observado que 4 componentes principais eram suficientes para explicar mais de 70% da variação total, definindo assim o número de fatores. Deve ser ressaltado que este valor, representa na análise de fatores, a comunalidade média, ou seja, o quanto estes fatores comuns explicam as variações da característica estudada. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 13. De posse das cargas fatoriais finais realiza-se a tarefa da interpretação biológica de forma que alguns ou todos os fatores estabelecidos passam a ser identificados com complexos biológicos para utilização futura. Assim, apesar da Tabela 13 apresentar informações de 4 fatores, julgou ser apropriado adotar apenas fatores como sendo representativos dos seguintes complexos biológicos: fator ou complexo *silvicultural*, fator ou complexo *lignina* e o fator ou complexo *extrativos*. As variáveis cuja variação era prioritariamente explicada pelo fator comum foram as que melhor expressavam cada um dos referidos fenômenos biológicos.

É apropriado, tendo em vista as cargas fatoriais finais, que o fator 1 pode ser interpretado como características silviculturais da madeira, envolvendo as características de DAP, altura, Volume e IMA. Características com correlação positiva e significativa de acordo com a tabela 12.

Já no que se refere ao fator dois, é evidenciado a influência da lignina, que envolve a lignina klason e lignina total. Além dessa, a holocelulose pode ser interpretada inversamente, pois quanto mais a quantidade de lignina, menor a de holocelulose na madeira. A alta correlação entre os teores foi evidenciada nos estudos de correlação já discutidos anteriormente, além da correlação negativa com a holocelulose pela rede de correlação.

O fator três pode ser interpretado com teores de extrativos, nos caso os extrativos totais e em água.

Esse método de análise fatores é muito utilizado na área agrônômica (GARBUGLIO et al., 2007; MENDONÇA et al., 2007), principalmente para estratificação ambiental e para recomendar genótipos com adaptabilidade ampla.

Tabela 13 - Valores de cargas fatoriais, iniciais (CFI) e finais (CFF) e comunalidades obtidos na análise de fatores a partir das médias de famílias de meios-irmãos de cenoura, para as características silviculturais e de qualidade da madeira.

Característica	Cargas fatoriais iniciais (CFI)				Cargas fatoriais finais (CFF)				Comunalidade
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	
Rend	0,7147	-0,4149	0,0037	-0,1025	0,3509	-0,6372	-0,3983	-0,0750	0,6934
Cinzas	-0,2239	0,1925	0,0565	-0,6605	-0,0642	0,1460	0,2651	-0,6565	0,5267
Extac	-0,4621	0,3292	0,3171	0,5327	-0,1846	0,3330	0,5071	0,5514	0,7063
Extag	-0,2875	0,4505	0,7085	-0,2840	0,0525	0,0526	0,9060	-0,2045	0,8683
Exttot	-0,4316	0,5148	0,7257	-0,0186	-0,0312	0,1819	0,9701	0,0559	0,9783
Pent	-0,3060	-0,1823	0,0010	0,0444	-0,3555	0,0172	0,0222	0,0412	0,1289
Ligkl	-0,3818	0,6826	-0,4946	-0,0218	0,0568	0,9171	-0,0012	-0,1117	0,8568
LigTotal	-0,3937	0,7395	-0,4615	0,0277	0,0802	0,9503	0,0496	-0,0599	0,9156
Hol	0,4913	-0,6742	0,2877	-0,1094	0,0310	-0,8664	-0,1931	-0,0434	0,7907
Dens	0,4644	0,0082	0,1906	0,5291	0,3873	-0,2585	-0,0412	0,5600	0,5321
Kappa	-0,2010	-0,0304	0,0514	0,3372	-0,1839	0,0778	0,0653	0,3369	0,1576
DAP	0,7179	0,6409	0,0582	-0,0027	0,9568	0,0886	0,0781	0,0068	0,9295
Alt	0,7888	0,3971	-0,0092	0,0044	0,8731	-0,0806	-0,1046	0,0122	0,7799
VOL	0,8139	0,5452	0,0302	-0,0170	0,9800	-0,0104	-0,0160	-0,0066	0,9609
IMA	0,8138	0,5452	0,0302	-0,0171	0,9800	-0,0104	-0,0159	-0,0066	0,9608

Rend: Rendimento da madeira; Extace: Extrativo em acetato; Extag: Extrativo em água; Extt: Extrativos Totais; Pento: Pentosanas; Ligk: Lignina Klason; Ligt: Lignina Total; Hol: Holocelulose; Kappa: Índice Kappa.

Após a análise das cargas fatoriais e estabelecimento dos complexos biológicos é possível estabelecer escores associados a cada complexo que serão utilizados em análises gráficas, geralmente de duas dimensões, permitindo inferências sobre o desempenho particular dos acessos estudados revelando suas potencialidades para fins de seleção e utilização, pelo menos per se, em programas de melhoramento.

As análises gráficas para fins de identificação do desempenho de 87 acessos de eucaliptos em relação a três complexos biológicos são apresentadas nas Figuras 4,5 e 6.

Na Figura 4 é apresentada a dispersão dos escores em relação aos complexos representativos do *crescimento* (das características silviculturais da madeira) e o complexo *lignina*, sendo respectivamente, o resultado da interpretação das cargas fatoriais finais fator 1 e 2. No processo de polpação da madeira envolvendo esses dois complexos buscaram-se duas condições. O ideal é um material com altos valores de *crescimento* (características silviculturais da madeira) e baixos teores de *lignina*. No gráfico é possível identificar indivíduos com essas particularidades dentro de uma determinada população. Assim, o quadrante inferior à direita é o que representa o conjunto de indivíduo dentro da população

que com altos valores das características silviculturais (complexo *crecimento*) e baixos teores de lignina (complexo *lignina*). Esses indivíduos são: 5, 7, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 20, 21, 23, 24, 28, 30, 33, 34, 35, 38, 39, 41, 52, 53, 54, 58, 60, 64, 69, 71, 79, 82, 83, 84 e 87.

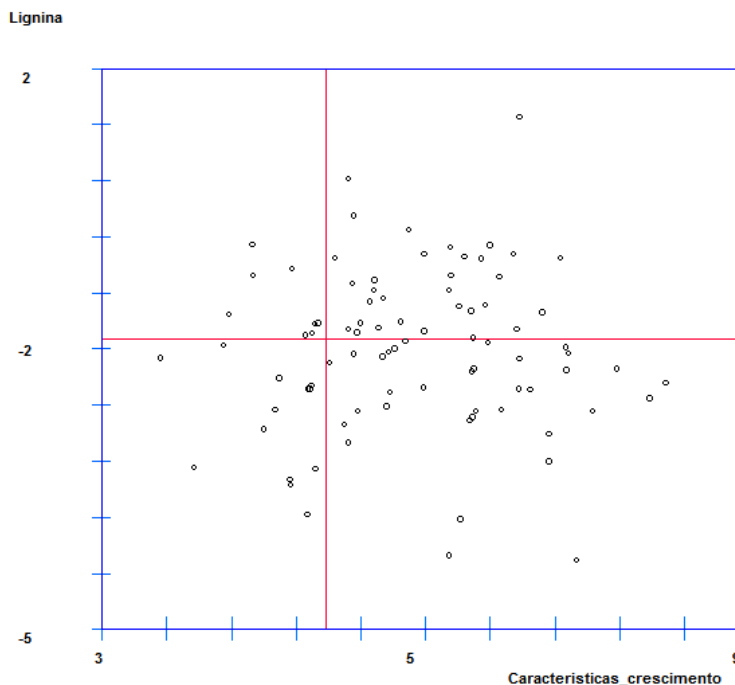


Figura 4. Dispersão gráfica dos escores de 87 acessos de eucaliptos em relação a fatores representativos dos complexos biológicos Crescimento e Lignina

Na Figura 5, observa a dispersão de escores estabelecidos pelo fator 1 e o fator 3 representativos, respectivamente, dos complexos *crecimento* (características silviculturais) e *extrativos*. Tendo em vista as cargas fatoriais finais, o quadrante inferior à direita é o que contém os indivíduos com características de interesse na polpação com materiais de altos valores de características do complexo *crecimento* e baixos valores de características do complexo *extrativos*. Assim, destacam-se as amostras: 1, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 20, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 44, 46, 48, 52, 54, 55, 57, 59, 61, 63, 66, 67, 69, 71, 72, 74, 75, 78, 82, 83, 84, 85, 86 e 87.

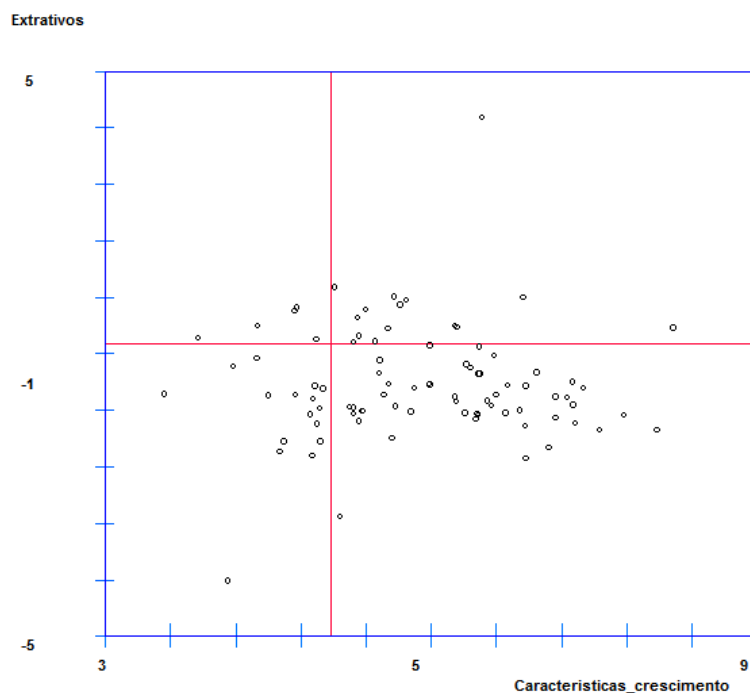


Figura 5. Dispersão gráfica dos escores de 87 acessos de eucaliptos em relação a fatores representativos dos complexos biológicos Crescimento e Extrativos

Para a relação entre o fator 2 e 3 (gráfico 3), interpretados biologicamente como complexos *lignina* e *extrativos*, os indivíduos de interesse estão no quadrante inferior à esquerda, pois é onde estão as coordenadas gráficas dos indivíduos com menores teores nesses dois complexos, sendo este os teores ideais para a polpação. Este quadrante constituído pelos seguintes acessos: 3, 7, 8, 9, 10, 11 e 31.

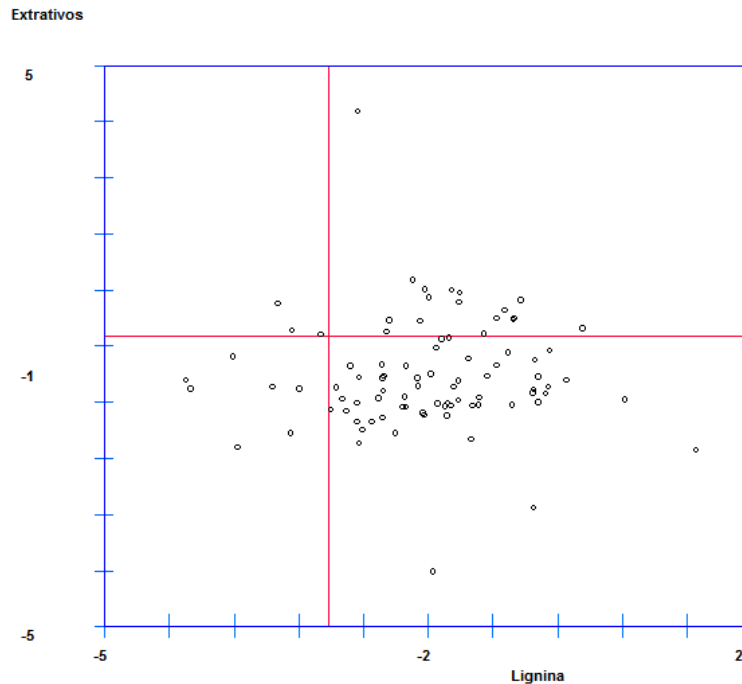


Figura 6. Dispersão gráfica dos escores de 87 acessos de eucaliptos em relação a fatores representativos dos complexos biológicos Lignina e Extrativos.

Uma análise global permite identificar os indivíduos 7, 9, 10 e 11 como de destaque para os três complexos estudados, sendo de interesse em utilização per se. A adequação de uso destes indivíduos em programas de melhoramento envolvendo recombinação dependerá de estudos adicionais sobre a diversidade genética de modo que a população base a ser formada reúna, além de bom potencial, alta variabilidade aumentando expectativa de aparecimento de segregantes transgressivos a ser explorados pelas técnicas seletivas.

4.4. Diversidade genética entre indivíduos em uma população de eucalipto

4.4.1. Características Tecnológicas da Madeira

Programas de melhoramento em eucalipto podem fazer uso de estratégia, a curto prazo, de exploração do potencial de bons indivíduos por meio de propagação vegetativa, ou de uso de melhoramento populacional procurando-se continuamente, por técnicas de seleção recorrente, indivíduos superiores em uma população de bom desempenho e ampla variabilidade. A identificação de indivíduos superiores pode ser feita em ensaios de

competição e mensuração das características de interesse como feito no tópico abordado anteriormente, mas a variabilidade da população a ser formada para fins de seleção requer análises biométricas mais apropriadas. Assim, recomenda-se quantificar a variabilidade de maneira direta em sistemas de cruzamentos entre possíveis genitores, geralmente adotando delineamentos genéticos como dialelos, ou indiretamente por meio de técnicas preditivas da diversidade genética. Assim, acredita-se que boas populações possam ser formadas do inter cruzamento de indivíduos de bom potencial, porém divergente de forma que tenham genes complementares e que possibilitarão o aparecimento de transgressivos em gerações segregantes avançadas.

Com essa ênfase, no presente estudo a diversidade genética foi avaliada com base nas características tecnológicas de qualidade da madeira e o agrupamento estabelecido por meio do método de Tocher, utilizando a distância euclidiana média como medida de dissimilaridade. Verifica-se que foram formados oito grupos de indivíduos (Tabela 14), cujas médias são apresentadas na Tabela 15.

Tabela 14 - Padrão de agrupamento estabelecido pelo método de Tocher utilizando características tecnológicas da madeira, para 87 indivíduos de uma população de eucalipto.

Formação dos Grupos		
Grupo	Acessos	Subgrupos
1	62, 66, 80, 37, 84, 71, 55, 75, 49, 85, 23, 69, 87, 45, 61, 44, 64, 76, 26, 21, 35, 34, 82, 41, 28, 38, 17, 58, 16, 39, 54, 53, 46, 5, 24,30, 2, 57, 42, 33, 52, 65, 13, 77, 15, 14, 74, 25, 48, 19, 36, 12, 27, 9, 22, 43, 20, 67, 18, 81, 60, 51, 83, 78, 63, 86, 50, 32, 1, 59, 47, 56, 72, 8, 7, 4, 31.	1 A
		56, 60, 29, 70, 74, 63, 48, 14, 77, 37, 66, 75,41, 62, 4, 72, 25, 36, 38, 18, 20, 46, 55, 30, 34, 5,32, 51, 67, 45, 58, 50, 12, 16, 22, 28, 1, 65, 59, 44,68, 3, 17, 26, 2, 40, 13, 57, 19, 35, 53, 61, 9, 6, 71, 43, 76,54, 69, 49,52.
		1 B
		11, 27, 10, 15,33.
		1 C
		24,73.
		1 D
		8, 42, 39,64.
1 E		
23,31.		
1 F		
21,47.		
1 G		
7		
2	3, 10, 11	
3	40, 70	
4	68	
5	29	
6	79	
7	73	
8	6	

Tabela 15- Médias de grupos estabelecidos pelo método de Tocher, para 87 indivíduos de uma população de *Eucalyptus*.

Médias das características em cada grupo											
Grupos	Rend	Cinzas	Extace	Extag	Extt	Pento	Ligk	Ligt	Hol	DB	Kappa
1	49,31	0,52	0,94	2,57	3,52	16,85	27,63	31,24	65,19	414,26	18,85
2	53,73	0,53	0,53	2,16	2,69	15,92	23,67	27,57	69,73	432,33	17,83
3	46,95	0,57	1,61	2,81	4,42	21,07	26,89	30,01	65,5	388	19,8
4	47,7	0,38	1,97	2,97	4,94	14,44	27,41	31,67	63,4	456	17,7
5	47,7	0,52	1,18	0,2	1,38	18,25	25,38	29,39	56,2	398	18
6	49,2	0,64	0,83	6,72	7,55	15,92	27,18	30,49	62	402	18,6
7	50	2,51	1,22	2,97	4,19	14,64	29,07	31,18	64,6	412	16,7
8	52,9	0,46	0,66	2,68	3,34	13,31	34,3	36,77	59,9	415	17,8

Rend: Rendimento da madeira; Extace: Extrativo em acetato; Extag: Extrativo em água; Extt: Extrativos Totais; Pento: Pentosanas; Ligk: Lignina Klason; Ligt: Lignina Total; Hol: Holocelulose; Kappa: Índice Kappa.

A técnica de agrupamento de Tocher possibilitou a formação de 8 grupos. Dos 87 indivíduos, 77 foram agrupados no grupo 1, três no grupo 2, dois no grupo 4 e o restante com apenas um indivíduo. Para avaliar mais a fundo os indivíduos, foi feita a subdivisão do grupo um, formando outros 7 subgrupos. Sendo o primeiro subgrupo com a maioria dos indivíduos, com 61 indivíduos. Assim, de forma geral, o primeiro grupo ficou com a maioria dos indivíduos, mostrando pouca dissimilaridade quando se avalia as características tecnológicas da madeira.

Ao analisarmos as testemunhas, identificadas de 1 a 12, verificamos que 8 destas (66,66%) foram classificadas no grupo 1 juntamente com a maioria dos restantes dos indivíduos de *Eucalyptus benthamii*. Já as outras 33,33% foram classificadas em outros dois grupos. Sendo, o grupo 2 composto três indivíduos, dois *E. saligna* e o outro *E. dunnii*. O grupo 8 só possui 1 indivíduo, sendo pertencente ao *E. grandis*. O grupo 2 mencionado merece maior destaque, pois, como visto no tópico anterior, os indivíduos 7, 9, 10 e 11 foram destacados como de bom desempenho para os três complexos estudados, porém contata-se, excluindo o indivíduo 7, haver pouca diversidade entre eles, indicando baixa complementariedade genética e pouca variabilidade em populações derivadas de seus cruzamentos. O grupo 2 deve ser destacado pois apresentou alto rendimento de polpa celulósica, baixo teor de lignina, elevados valores de holocelulose e valores intermediários de densidade básica.

Avaliando o restante da população, dos 87 indivíduos, 75 são da espécie de *Eucalyptus benthamii*. Desses, 92% desses indivíduos foram alocados em um mesmo grupo (1). Os demais foram classificados nos outros 5 grupos diferentes no grupo 3 (tem 2 indivíduos), 4, 5, 6 e 7 (estes constituídos por apenas um indivíduo).

A qualidade da madeira de *Eucalyptus* para a produção de celulose também está altamente relacionada à sua composição química. São desejáveis altas porcentagens de carboidratos, principalmente celulose e hemicelulose, e baixos teores de extrativos, cinzas e ligninas, indesejáveis no processo e que influenciam quantitativamente no rendimento, demanda da carga de álcali, cozimento da madeira e consumo de químicos no branqueamento (FOELKEL, 2013).

O teor de Pentosanas foi a variável que apresentou maior contribuição relativa para estudo de diversidade com 20,978 %, seguido pelo índice Kappa com 13,3877%. O rendimento de polpa celulósica, que foi uma das variáveis utilizada para a seleção das árvores, contribuiu com 10,20% da variação total, sendo a quinta variável com maior contribuição.

Ao analisarmos o quadro de contribuição relativa dos caracteres podemos verificar que a variável teor extrativo em água foi a que menos contribuiu para a diversidade com 3,108 %, seguido da Cinzas, com 3,945 %.

No geral, as contribuições foram bem divididas entre as variáveis, mostrando que a maiorias das características tem contribuição relativa na diversidade do material em estudo.

Tabela 16 - Contribuição relativa das características tecnológicas da madeira.

Característica	S,j	%
Rendimento	280,632	10,2
Cinzas	108,5391	3,945
Extrativos em acetato	329,396	11,9724
Extrativos em água	85,52517	3,1085
Extrativos Totais	115,1912	4,1868
Pentosanas	577,1678	20,978
Lignina klason	168,5802	6,1273
Lignina total	213,0825	7,7448
Holocelulose	183,2496	6,6605
Densidade básica	321,6019	11,6891
Índice Kappa	368,3365	13,3877

As técnicas de agrupamento são eficientes em estabelecer grupos similares, entretanto, não possibilitam reconhecer as distâncias entre os grupos e os indivíduos. Análise

multivariada por dispersão gráfica nos permite, de forma espacial, analisar essa dispersão. Há duas metodologias, comumente utilizadas, que são a por componentes principais e variáveis canônicas. Além disso, essas metodologias nos permitem avaliar a contribuição e importância dos caracteres de qualidade.

Na Tabela 17 pode-se verificar que são necessários cinco componentes para explicar um mínimo de 80% da variação originalmente disponível nos dados.

Através de estudos de diversidade genética é possível identificar variáveis que menos contribuem para a diferenciação dos genótipos, sendo passível de descarte em estudos futuros. Com base na técnica de componentes principais, as variáveis de maiores pesos nos últimos autovetores são consideradas de menor importância para o estudo. Fazendo a análise dos elementos dos seis últimos autovetores, ou seja, do último até aquele em que o valor do autovetor, obtido da matriz de correlação, é menor ou igual a 0,8, identificam-se, no estudo, os caracteres de Extt, Ligt, Hol, Rend, Pento e Cinzas.

Por outro lado, as variáveis de maior peso nos primeiros autovetores são consideradas de maior importância para o estudo de diversidade quando o autovalor explica uma fração considerável da variação disponível, normalmente limitado em valor mínimo de 80% (CRUZ; FERREIRA & PESSONI, 2011). No caso, lignina total, extrativos em água, Cinzas, Pentosanas e índice Kappa foram as que apresentaram maior contribuição nos cinco primeiros componentes. Assim, como o número de componentes para um estudo gráfico foi muito alto, não sendo viável o estudo das variações das características por meio destes.

Tabela 17. Estimativas de autovalores e autovetores, que medem a importância relativa de características, obtidos da matriz de correlação entre caracteres mensurados em uma população de eucalipto.

Componentes	AV	AV (%)	% ACUMULADA	CONJUNTO DE AUTOVETORES ASSOCIADOS										
				Rend	Cinzas	Extace	Extag	Extt	Pento	Ligk	Ligt	Hol	Densidade	Kappa
CP1	3,785	34,406	34,406	-0,406	0,15	0,286	0,271	0,346	0,045	0,389	0,415	-0,426	-0,163	0,061
CP2	1,722	15,655	50,06	-0,017	0,045	0,247	0,527	0,545	0,05	-0,395	-0,371	0,227	0,105	0,06
CP3	1,229	11,173	61,234	0,002	0,51	-0,427	0,158	-0,043	0,356	-0,05	-0,082	0,101	-0,62	-0,039
CP4	1,201	10,915	72,149	-0,157	-0,31	0,21	-0,215	-0,093	0,672	-0,11	-0,076	-0,025	-0,083	0,551
CP5	0,977	8,88	81,029	0,306	-0,003	-0,398	0,284	0,075	-0,212	0,224	0,174	0,08	0,144	0,714
CP6	0,797	7,247	88,276	0,009	0,731	0,144	-0,172	-0,086	0,224	0,052	-0,038	-0,01	0,587	0,098
CP7	0,647	5,883	94,159	0,235	-0,271	-0,299	0,278	0,11	0,564	0,209	0,2	-0,002	0,353	-0,409
CP8	0,331	3,009	97,168	0,8	0,081	0,365	-0,066	0,096	0,06	-0,045	0,017	-0,384	-0,231	-0,006
CP9	0,265	2,406	99,573	0,142	0,033	0,374	-0,095	0,075	0,042	0,397	0,219	0,766	-0,169	-0,04
CP10	0,047	0,427	100	0,008	0,062	0	-0,014	-0,012	0,003	-0,65	0,747	0,124	0,023	0,008
CP11	0	0	100	0	0	-0,301	-0,613	0,73	0	0	0	0	0,001	-0,001

Rend: Rendimento da madeira; Extace: Extrativo em acetato; Extag: Extrativo em água; Extt: Extrativos Totais; Pento: Pentosanas; Ligk: Lignina Klason; Ligt: Lignina Total; Hol: Holocelulose; Kappa: Índice Kappa.

4.4.2. Características de crescimento da Madeira

Assim como realizados para as características tecnológicas da madeira, o mesmo foi feito para as características de crescimento. Realizou-se o agrupamento de Tocher (Tabela 18), obteve-se a medida da contribuição de cada características para a diversidade genética (Tabela 19) e, por fim, os autovetores e autovalores para medir a importância de características (Tabela 20). Para fins de comparação, obteve-se a correlação entre as matrizes de distâncias das características tecnológicas da madeira e a de crescimento.

Tabela 18 - Padrão de agrupamento estabelecido pelo método de Tocher utilizando características de crescimento da madeira, para 87 indivíduos de uma população de *Eucalyptus*.

Formação de grupos	
Grupo	Acessos
1	10, 78, 26, 25, 52, 38, 37, 55, 36, 69, 74, 33, 48, 9, 6, 85, 83, 51, 79, 67, 17, 39, 72, 44, 81, 63, 71, 16 e 73
2	47, 80, 77, 31, 12, 3, 14, 45, 22, 62, 70, 2, 13, 27, 54, 43, 35, 20, 84, 19, 8, 50, 61, 66, 59, 29, 75, 82, 18, 28 e 86
3	60, 87, 34, 42, 57, 64, 68, 21 e 76
4	15, 41, 46, 11, 1, 58, 7, 24, 5 e 23
5	30 e 53
6	40, 56 e 4
7	32 e 49
8	65

Foram formados 8 grupos como observado na tabela 18, assim como no agrupamento com base em características tecnológicas da madeira. O grupo 1 e o grupo 2 são os com maiores números de indivíduos: 33,33% e 35,63%, respectivamente. O grupo 3 teve 10,34% dos indivíduos e o grupo 4 com 11,49%. Já os restantes obtiveram abaixo de 4% dos indivíduos. Ao confrontarmos com o agrupamento de Tocher das características tecnológicas da madeira (Tabela 14) pode-se observar diferença no aspecto geral. Ou seja, o agrupamento com as características de crescimento distribuiu mais os indivíduos entre os grupos.

As testemunhas foram separadas em 4 grupos. No grupo 1 teve 25% das testemunhas, no segundo 33,33%, no grupo 3 teve 33,33% e no grupo 4 com 8,33% o que corresponde a 1

indivíduo. Nesse caso também houve uma maior distribuição das testemunhas dentro dos grupos.

A tabela de contribuição relativa das características de crescimento da madeira (Tabela 19), demonstra que o DAP foi a variável que apresentou maior contribuição relativa para estudo de diversidade com 28,5708 %. A variável que proporcionou menor contribuição para a diversidade foi altura. Volume e o IMA proporcionaram a mesma contribuição.

Tabela 19 - Contribuição relativa das características de crescimento da madeira.

VARIÁVEL	S.j	%
DAP	428,4076	28,5708
Alt	250,5794	16,7113
Vol	410,2314	27,3586
IMA	410,242	27,3593

DAP: Diâmetro a 1,30 do solo; Alt: Altura Total; Vol:Volume; IMA: Incremento Médio Anual

Na Tabela 20 verifica-se que é necessário apenas um componente para explicar de 90% da variação originalmente disponível nos dados, tendo em vista o grau de relacionamento entre as variáveis mensuradas. Realizando a análise dos elementos do último autovetor verifica-se que a característica volume obteve o maior peso, em módulo, nesse componente, sendo considerado de menor importância, provavelmente pelo aspecto estatístico de redundância ou correlação, sendo passível de descarte nesse tipo de análise. No entanto, sabemos que esta característica, no contexto silvicultural, contém diversas informações que auxiliam em tomadas de decisão e quantificação da população para fins comerciais.

Tabela 20 - Estimativas de autovalores e autovetores, que medem a importância relativa das características obtida da matriz de correlação entre caracteres mensurados em uma população de *Eucalyptus*.

Componentes	AV	%AV	% ACUMULADA	CONJUNTO DE AUTOVETORES ASSOCIADOS			
				DAP	Alt	Vol	IMA
CP1	3,681607	92,03571	92,035713	0,5032	0,4605	0,5171	0,5171
CP2	0,288291	7,20693	99,242643	-0,4191	0,87	-0,1835	-0,1835
CP3	0,030199	0,754937	99,997579	0,7557	0,1759	-0,4447	-0,4474
CP4	0,000097	0,002421	100	0,0015	0,0004	-0,708	0,7063

AV: Autovalores; DAP: Diâmetro a 1,30 do solo; Alt: Altura Total; Vol:Volume; IMA: Incremento Médio Anual

A associação entre matrizes de dissimilaridade é verificada na Figura 7. A medida de associação entre os valores de duas matrizes de dissimilaridade pode ser obtida por meio da correlação de Pearson. Para o teste de significância utilizou-se os testes t e de Mantel. A correlação foi no valor de 0,0695%, sendo esse valor considerado muito baixo apesar de significativo de acordo com os dois testes realizados. Pela figura, também, podemos observar a não tendência dos dados das matrizes. É possível ver a divergência dentro da população e assim a possibilidade de ganhos de seleção.

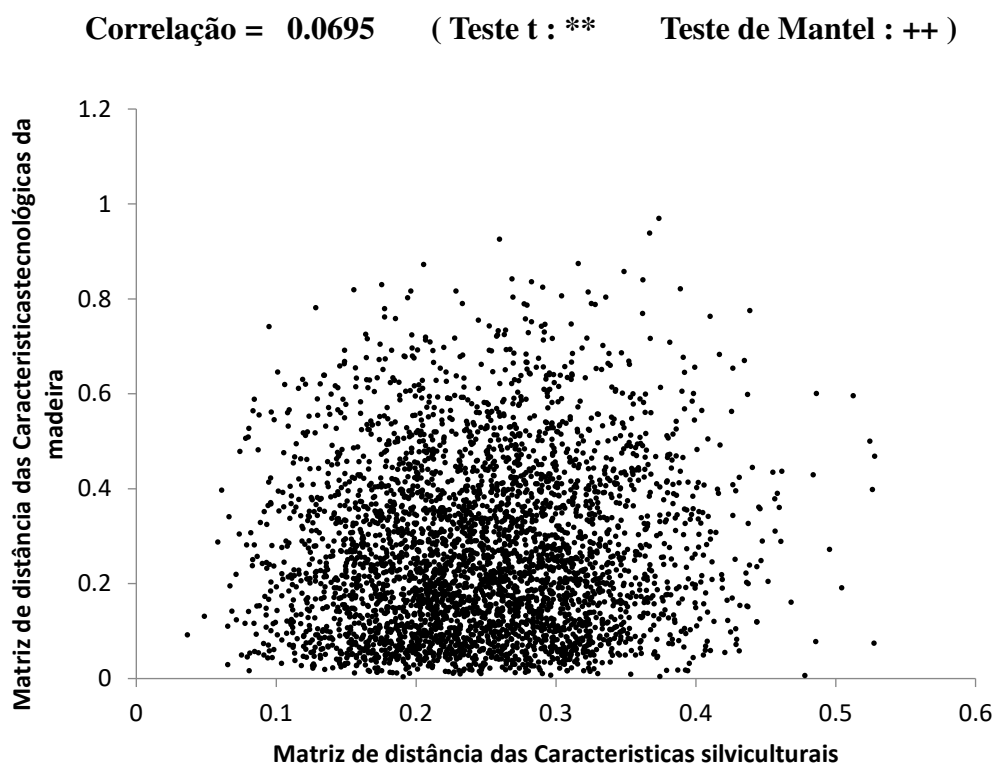


Figura 7 - Gráfico de associação entre as matrizes de distância das características tecnológicas da madeira e de crescimento.

**, ++: Significativo a 1 de probabilidade pelo teste t e de Mantel baseado em 2000 simulações.

4.5. Organização da diversidade genética entre indivíduos em uma população de eucalipto

Estudos sobre a diversidade são feitos para predizer variabilidade de populações a serem geradas por intercruzamentos e identificação dos potenciais genitores com bom desempenho e complementariedade gênica para fins de hibridação. A abordagem feita anteriormente responde a estas questões, porém não fornece sobre a organização da diversidade que, no presente estudo, é de grande interesse tendo em vista que a população de estudo foi estruturada a partir de diferentes critérios representativos de informações biológicas, silvicultural ou tecnológica. Assim, vale lembrar que a população estudada foi estabelecida com a participação de indivíduos de diferentes espécies, ou de diferentes desempenhos tecnológico e de diferentes desempenhos para características silviculturais e a organização desta suposta diversidade prévia não foi contemplada nos estudos até então realizados. O entendimento desta organização permitirá em estudos futuros recorrer a novas amostragens em grupos organizados mais, ou menos distantes, para incorporar na população de interesse novos alelos de interesse sem provocar grandes rupturas na estrutura da população de interesse.

4.5.1. Organização da diversidade genética pelas características tecnológicas da madeira

Foram utilizados 3 critérios de inferência para interpretação da organização gerada pelos estudos da diversidade utilizando mapas de Kohonen:

Critério 1: Espécies testemunhas

Foi avaliada a organização, dentre as 87 árvores avaliadas, de 12 árvores, das quais quatro são pertencentes à mesma espécie, do total de três, ou seja, *E. saligna*, *E. grandis* e *E. dunnii*. Foi escolhida a topologia de 4x4 para a formação dos grupos.

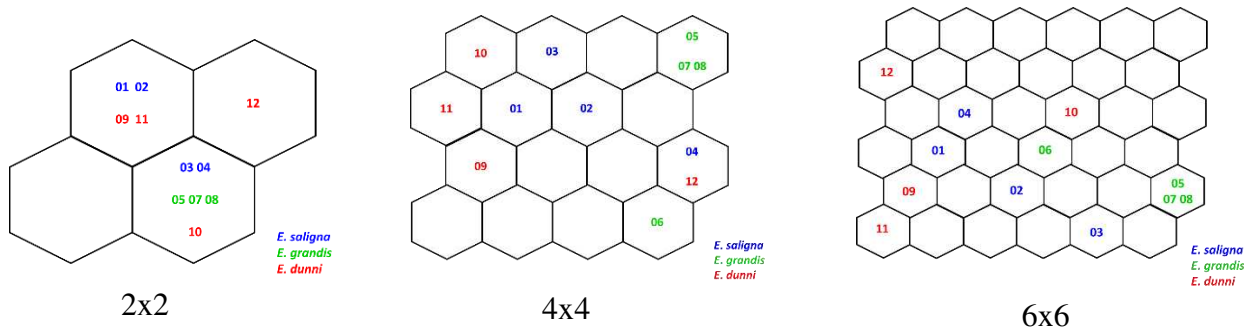


Figura 8 - Organização das testemunhas nas diferentes topologias no Mapa de Kohonen.

Na figura 8, podemos observar os grupos definidos nos mapas de Kohonen de acordo com este critério de inferência, destacando a organização dos indivíduos dentro de cada grupo e as características que foram comuns a cada indivíduo dentro do grupo.

Na tabela 21, foram destacadas as características de cada grupo. O primeiro grupo incluiu indivíduos de duas espécies diferentes: *E. saligna* e *E. dunni*. Já o segundo grupo incluiu apenas indivíduos da testemunha *E. grandis*. O terceiro grupo foi formado por indivíduos das 3 testemunhas, um de cada. Ao se analisar as 11 características foi possível observar que a densidade básica foi a determinante para a separação dos grupos. No grupo 1 os indivíduos apresentaram alta densidade básica da madeira, o grupo 2 baixas e o 3 médios valores.

Tabela 21. Característica de indivíduos representativos de três espécies de eucaliptos destacados nos setores do mapa topológico de Kohonen.

Setor Espacial	Indivíduos	Características
1	01, 02, 03, 09, 10 e 11	Alta densidade básica Alta holocelulose Médios teores de extrativos totais e em água Baixos teores de lignina total
2	05, 07 e 08	Baixa densidade básica Médios teores de pentosanas
3	04, 06 e 12	Média densidade básica

Critério 2: Relação S/G

Nesse critério de inferência foram destacados apenas 10 indivíduos, dentre os 87 estudados, sendo 5 com alta relação S/G e 5 com baixa relação. Assim como o critério anterior, a topologia 4x4 foi escolhida para a formação e estudo dos grupos.

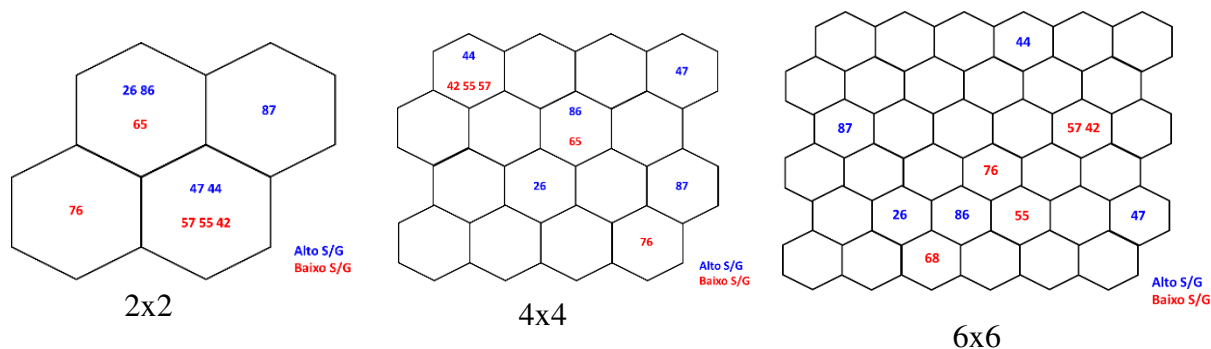


Figura 9 - Organização dos indivíduos com alta e baixa relação Siringil/Guaiacil nas diferentes topologias no Mapa de Kohonen.

Na Figura 9 podemos observar os grupos definidos nos mapas de Kohonen de acordo com este critério de inferência. Neste critério buscaram analisar os 10 indivíduos de acordo com a relação S/G, permitindo a formação de 4 grupos. O grupo número 1 é constituído por 4 indivíduos, sendo 1 deles de alta relação S/G e os outros 3 de baixa relação S/G. O grupo 2 é formado por 3 indivíduos sendo 2 deles de alta relação S/G e 1 de baixa. O grupo 3, com apenas um indivíduo, com alta relação S/G. O grupo 4 possui 2 indivíduos sendo um de alta e outro de baixa relação S/G. Ao se analisar todas as características pode-se observar que os grupos para serem formados dependem de uma série de relações. Assim, não sendo possível fazer uma relação como no critério anterior.

Na tabela 22 é possível analisar as principais características tecnológicas mais definidas dentro de cada grupo. De forma geral a densidade pode ser considerado um fator determinante dos grupos. Apesar de no grupo 1 e 3 terem a mesma classificação quanto a essa características há outras que possibilitam diferencia-los.

Tabela 22. Característica de indivíduos representativos dois grupos, estabelecidos em função da relação S/G, de eucaliptos destacados nos setores do mapa topológico de Kohonen.

Setor Espacial	Indivíduos	Características
1	42, 44, 55 e 57;	Baixa densidade básica Médios teores de extrativos totais Médios teores de lignina Médios rendimentos de polpa
2	26, 65 e 86;	Altos teores de lignina klason Alta densidade básica
3	47;	Alto Rendimento de polpa Alto teores de cinzas Altos teores de extrativos Baixos teores de holocelulose Baixos de densidade básica
4	76 e 87.	Alto índice Kappa Média densidade básica Baixa lignina klason Altos teores de cinza

Critério 3: Rendimento de polpa celulósica

Nesse critério de inferência foi destacado o comportamento de 40 indivíduos, sendo 20 de alto rendimento e 20 de baixo rendimento. A topologia 6x6 se adequou melhor devido ao grande número de indivíduos avaliados e uma melhor visualização dos grupos formados.

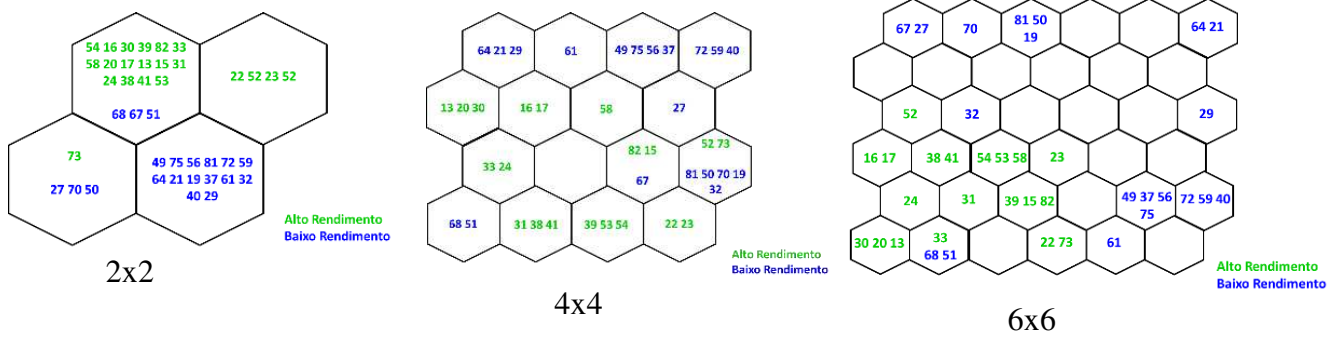


Figura 10 - Organização dos 20 indivíduos com baixo e dos 20 indivíduos com alto rendimento nas diferentes topologias no Mapa de Kohonen.

Na Figura 10 podemos observar os grupos definidos nos mapas de Kohonen de acordo com este critério de inferência. O terceiro critério estudado foi o rendimento de polpa, avaliando os 20 indivíduos com alto e os 20 com baixos valores desta característica. Foi possível, com a topologia 6x6, a formação de 5 grupos. Como podem ser observadas na tabela, várias características correlacionaram os indivíduos dentro dos grupos, vale a pena destacar a característica densidade básica, pois está conseguiu definir bem os grupos.

Tabela 23 - Característica de indivíduos representativos dois grupos de *Eucalyptus*, referentes a alto e baixo rendimento, destacados nos setores do mapa topológico de Kohonen.

1	19, 27, 50, 67, 70 e 81;	Alto extrativos totais Alta Pentosanas Alta lignina klason e total Baixa holocelulose Média densidade básica
2	21 e 64;	Altos teores de extrativos totais e em água Médios Pentosanas Médios holocelulose Média densidade básica.
3	29;	Baixo extrativos totais e em água Baixa lignina klason e total Baixa holocelulose Média densidade
4	37, 40, 49, 56, 59, 61, 72 e 75;	Baixa densidade básica Baixo Rendimento de polpa Médio extrativos totais, Altos teores de lignina total e klason.
5	13, 15, 16, 17, 20, 22, 23, 24, 30, 31, 32, 33, 38, 39, 41, 51, 52, 53, 54, 68, 73 e 82;	Alto rendimento; Baixa cinza; Baixa lignina total e klason; Alta holocelulose; Alta densidade básica.

No geral, a densidade básica se mostrou uma característica de importância na formação dos grupos analisando os mapas auto-organizáveis de Kohonen. É uma característica que representa um somatório de várias características da madeira, no entanto nem sempre se conseguiu correlações bem definidas com estas características, mas mesmo assim é uma variável que é muito importante na definição de grupos, como demonstrado através dos mapas auto-organizáveis. Em uma primeira etapa de seleção de clones por critérios tecnológicos de qualidade de madeira são recomendados os estudos de densidade básica, de constituição

química e anatômica e, inevitavelmente, de transformação da madeira em polpa celulósica durante o cozimento (GOMIDE; NETO; REGAZZI, 2010; SEGURA et al., 2017).

Como podemos observar nos mapas, quanto mais neurônios foram alocados na arquitetura da rede mais grupo, com menor quantidade de indivíduos, foram formados. Este fato mostra que, quanto maior a quantidade de neurônios, mais variações e informações mais detalhadas pode ser extraída.

4.5.2. Organização da diversidade genética pelas características de crescimento da madeira

Assim como foi realizado utilizando características tecnológicas da madeira, a mesma avaliação foi realizada com as características de crescimento da madeira pelos 3 critérios.

Critério 1: Espécies testemunhas

Para a separação dos grupos utilizou-se a topologia 4x4 de acordo com o que foi mostrado figura abaixo. Formou-se 3 grupos separando as testemunhas dentro desses de acordo com as características de crescimento. O grupo 1 é constituído por três indivíduos, sendo 1 pertencente à espécie *E. saligna* e a *E. dunnii*. No grupo 2 tem no total de 4 acessos dois da espécie *E. grandis*, um do *E. saligna* e um do *E. dunnii*. No terceiro e último grupo englobaram-se 5 indivíduos com três da espécie *E. saligna*, um da *E. grandis* e um da *E. dunnii*. Como pode ser demonstrado na Figura 11.

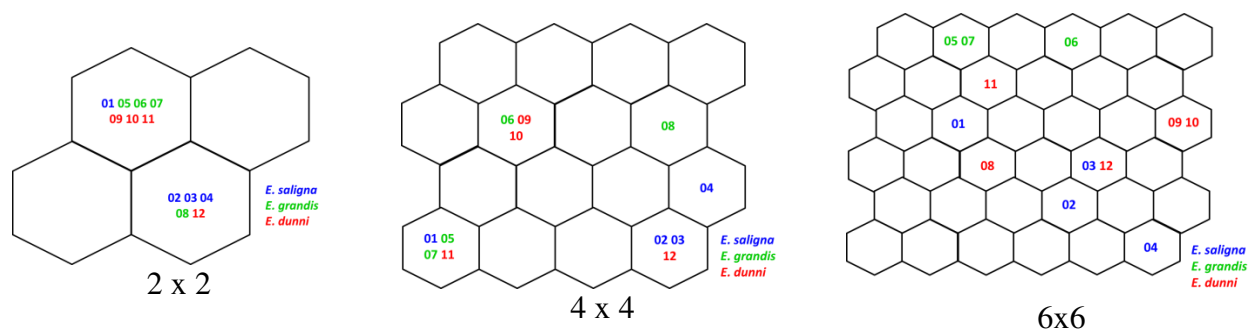


Figura 11 - Organização das testemunhas nas diferentes topologias no Mapa de Kohonen.

Na Tabela 24 foi descrito as características marcantes de cada grupo. Como pode ser observado o Mapa auto-organizável de Kohonen separou os indivíduos de acordo com os valores baixo, médio e alto das características silviculturais da madeira.

Tabela 24- Característica de indivíduos representativos de três espécies de eucaliptos destacados nos setores do mapa topológico de Kohonen.

Grupos	Acessos	Características
1	06, 09 e 10	Médios valores de DAP, Altura, Volume e IMA
2	01, 05, 07 e 11	Altos valores de DAP, Altura, Volume e IMA
3	02, 03, 04, 08 e 12	Baixos valores de DAP, Altura, Volume e IMA

Critério 2: Relação S/G

Para o segundo critério 2 foi escolhido a topologia 6x6 para formação dos grupos. Neste caso foram formados no total de 5 grupos. O grupo 1, 2 3 e 4 com apenas um indivíduo e o grupo 5 com no total de 6 indivíduos como mostrado na Figura 12.

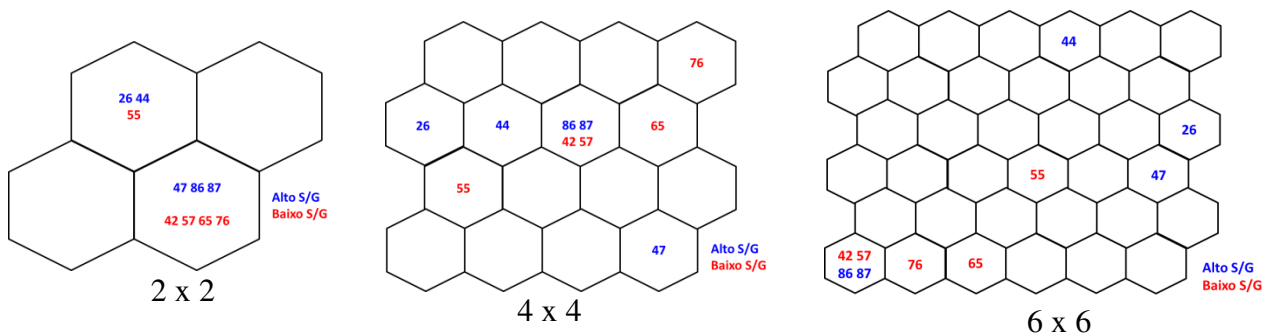


Figura 12 - Organização dos indivíduos com alta e baixa relação Siringil/Guaiacil nas diferentes topologias no Mapa de Kohonen.

Na Tabela 25 foram definidas as características de cada grupo. Assim como no critério anterior os valores das características silviculturais foram o grande responsável pela formação dos grupos.

Tabela 25 - Característica de indivíduos representativos dois grupos, estabelecidos em função da relação S/G, de eucaliptos destacados nos setores do mapa topológico de Kohonen.

Grupos	Acessos	Características
1	44	Alto valor de DAP, Volume e IMA Médio valor de altura
2	55	Alto valor de DAP, Altura, Volume e IMA
3	26	Alto valor Altura, Volume e IMA Médio valor de DAP
4	47	Baixos valores de DAP, Volume e IMA Médio valor de Altura
5	42, 57, 86, 87, 76 e 65	Médios valores de DAP, Altura, Volume e IMA

Critério 3: Rendimento de polpa celulósica

Para o terceiro critério a topologia escolhida para entender a organização da diversidade foi a 2x2. O grupo 1 é constituído pelo total de 18 indivíduos, o grupo 2 com 1 e o 3 com 21 no total. Visualmente (Figura 13) já podemos perceber uma diferenciação nos grupos. No grupo 1 estão indivíduos, em sua maioria, de alto rendimento de polpa celulósica e no grupo 3 indivíduos de baixo rendimento.

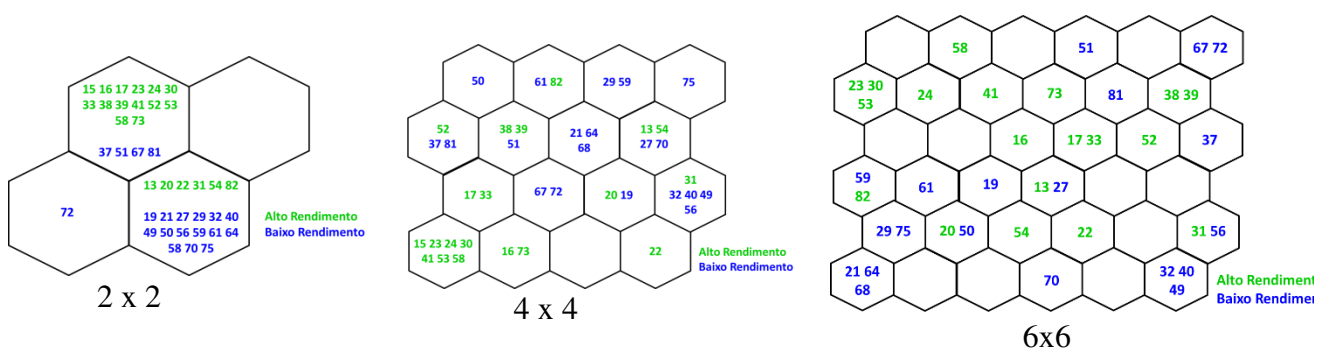


Figura 13 - Organização dos 20 indivíduos com baixo e dos 20 indivíduos com alto rendimento nas diferentes topologias no Mapa de Kohonen.

Na Tabela 26, assim como nos critérios anteriores, estão as características que definem cada grupo. O grupo 1 é formado por indivíduos de altos valores de DAP, Altura, Volume e IMA. O grupo 2 com indivíduo com médios valores de DAP, Altura, Volume e IMA e o 3 com indivíduos caracterizados pelos baixos valores de DAP, Altura, Volume e IMA.

Tabela 26 - Característica de indivíduos representativos dois grupos de eucaliptos, referentes a alto e baixo rendimento, destacados nos setores do mapa topológico de Kohonen.

Grupos	Acessos	Características
1	15, 16, 17, 23, 24, 30, 33, 38, 39, 41, 52, 53, 58, 73, 37, 51, 67 e 81	Altos valores de DAP, Altura, Volume e IMA
2	72	Médios valores de DAP, Altura, Volume e IMA
3	13, 20, 22, 31, 54, 82, 19, 21, 27, 29, 32, 40, 49, 50, 56, 59, 61, 64, 58, 70 e 75	Baixos valores de DAP, Altura, Volume e IMA

Como observado, a organização da diversidade pelo mapa auto-organizáveis de Kohonen mostrou as características contribuem para a formação dos grupos dependendo de cada critério. Para as características tecnológicas da madeira a densidade básica foi a fundamental para a separação dos grupos. Já para as características de crescimento todas as características são importantes.

O método SOM demonstrou ser uma maneira eficiente de identificar padrões de similaridade, como mostrado por Santos et al. (2019) e Mwasiagi (2011), que usou a técnica de MOS para distinguir genótipos de algodão. Este autor concluiu que o método foi eficiente para separar os fios finos aos mais grosseiros, e as amostras que foram dispersas no mapa seriam *outliers*, implicando em irregularidade do material. Smith et al. (2003), estudando a eficiência do SOM para organizar páginas web através de padrões de navegação, obtiveram um resultado satisfatório e concluíram que o método pode ser facilmente incorporado; no entanto, isso precisa ser desenvolvido para aplicativos de grande escala. Uma conclusão semelhante foi encontrada por Fritzke (1994), que estudou a eficiência do mapa para aprendizado supervisionado e não supervisionado.

5. Conclusões

A população de *E. benthamii* em estudo apresenta bom potencial para ser explorado por meio de técnicas seletivas tendo em vista às testemunhas utilizadas, considerando as estatísticas descritivas como o patamar médio favorável atingido para as características estudadas e a variabilidade apresentada em termos de amplitude de variação.

Na associação entre características da madeira a rede de correlações de *E. benthamii* permitiu, além de facilitar a visualização das correlações entre as características individualmente, entender as correlações dentro e entre os grupos.

Pelo estudo da diversidade genética foi possível entender a variação dentro da população, identificar a importância das variáveis e a associação entre as características de crescimento e tecnológicas da madeira.

A técnica de SOM (mapa auto-organizáveis de Kohonen) foi eficiente em identificar padrões de similaridade nos dois conjuntos de características estudados. Em características tecnológicas da madeira a técnica detectou a variável densidade com maior peso para formação dos grupos. Para características de crescimento da madeira todas as características foram fundamentais para separação dos grupos.

6. Referências Bibliográficas

ACQUAAH, G.; ADAMS, M. W.; KELLY, J. D. A factor analysis of plant variables associated with architecture and seed size in dry bean. **Euphytica**, v. 60, n. 3, p. 171–177, 1992.

ALMEIDA, A. E. A. DE. Avaliação Direta e Indireta de Rendimento Depurado e de Produção de Celulose em Clones de Eucalipto. **Tese**, p. 63, 2001.

ALMEIDA, J.M.; GOMIDE, J.L.; SILVA, D.J. Dissolução dos constituintes da madeira de eucalipto ao longo dos processos kraft contínuo convencional e aditivado. **Revista Árvore**, v. 24, n. 2, p. 215-222, 2000.

ALVES, A. M. M. et al. Determination of *Eucalyptus globulus* wood extractives content by near infrared-based partial least squares regression models: Comparison between extraction procedures. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 20, n. 2, p. 275–285, 2012.

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, R. N. DE; ANGELO, A. C. Crescimento inicial *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage E *Eucalyptus dunnii* Maiden en General Carneiro PR. **Monografia - UFPR**, p. 6, 2016.

ASSIS, T. F.; ABAD, J. I. M.; AGUIAR, A. M. Melhoramento Genético do Eucalipto. **Silvicultura do eucalipto no Brasil**, n. 1, p. 225–247, 2015.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Basic density and retractibility of wood clones of three. p. 665–674, 2010.

BEHERA, L. et al. Genetic variability and correlation study for growth characters among clones of *Eucalyptus*. **International Journal of Chemical Studies**, v. 5, n. 6, p. 763–765, 2017.

BENIN, G. et al. Capacidade de combinação em genótipos de trigo estimada por meio de análise multivariada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1145–1151, 2010.

BRONDANI, G. E. Miniestaquia e micropropagação de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage X *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Dissertação - UFPR**, 2008.

BRONDANI, G. E. et al. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* x *eucalyptus dunnii*: (II) sobrevivência e enraizamento de miniestacas em função das coletas e estações do ano. **Ciencia Florestal**, v. 20, n. 3, p. 453–465, 2010.

BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. [s.l: s.n.].

BUTCHER, P. A.; SKINNER, A. K.; GARDINER, C. A. Increased inbreeding and inter-species gene flow in remnant populations of the rare *Eucalyptus benthamii*. **Conservation Genetics**, v. 6, n. 2, p. 213–226, 2005.

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.

CARVALHO, A. D. F. DE et al. Análise de fatores e regressão bissegmentada no estudo da adaptabilidade e estabilidade de cenoura. **Revista Ceres**, v. 61, n. 6, p. 932–940, 2014.

CASTRO, A. F. N. M. et al. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 48, n. 6, p. 627–635, 2013.

COSTA, R. B. DA; SILVA, J. C. DA; EBERT, A. Análise Univariada e Multivariada : importância para o melhoramento genético de espécies florestais com ênfase em *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. **Multitemas, Campo Grande, MS**, v. 44, p. 13–25, 2013.

COSTA, J. DE A. Qualidade da madeira de *Eucalyptus Urograndis*, plantado no Distrito Federal, para produção de celulose kraft. **dissertação - UnB**, p. 76, 2011.

COUTO, H. T. Z. DO; BASTOS, N. L. M. Erros de medição de altura em povoamentos de *Eucalyptus* em Região plana. **Ipef**, n. 39, p. 21–31, 1988.

CRUZ, C. D. Genes Software – extended and integrated with the R , Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 38, n. 4, p. 547–552, 2016.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.**

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética.** Visconde do Rio Branco:2011.

CRUZ, C. D.; NASCIMENTO, M. **Inteligência Computacional Aplicada ao Melhoramento Genético.**

D'ALMEIDA, M. L. O. Tecnologia de fabricação de pasta celulósica. **Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo**, v. 1, p. 45–106, 1988.

DILEO, M. V. et al. Weighted correlation network analysis (WGCNA) applied to the tomato fruit metabolome. **PLoS ONE**, v. 6, n. 10, 2011.

ELOY, E. et al. Avaliação da qualidade de mudas de eucalyptus grandis utilizando parâmetros morfológicos. **Floresta**, v. 43, n. 4, p. 373–384, 2013.

EPSKAMP, S. et al. **qgraph** : Network Visualizations of Relationships in Psychometric Data. **Journal of Statistical Software**, v. 48, n. 4, 2012.

ESTOPA, R. A. et al. Caracterização química da madeira de *Eucalyptus benthamii* por meio de espectroscopia nir. **O Papel**, 2017.

FERREIRA, A. et al. Seleção simultânea de *Coffea canephora* por meio da combinação de análise de fatores e índices de seleção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1189–1195, 2005.

FERREIRA, F. M. et al. Formação de supercaracteres para seleção de famílias de maracujazeiro amarelo. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 247–254, 2010.

FERREIRA, D. F. Estatística Multivariada. 2.ed. Lavras: Ed. UFLA, 2011. 675p.

FILHO, D. B. F.; JÚNIOR, J. A. DA S. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. **Current Treatment Options in Neurology**, v. 13, n. 5, p. 488–495, 2011.

FILHO, E. P.; SANTOS, P. E. T. DOS; FERREIRA, C. A. Eucaliptos indicados para plantios no estado do Paraná. **Embrapa Florestas**, v. Documentos, p. 45, 2006.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal.** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992.269 p.

FOELKEL, C. Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. **Conferência IUFRO sobre silvicultura e melhoramento de eucaliptos**, p. 15–22, 1997.

FOELKEL, C. E. B. Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor. **IPEF**, v. 6, n. E1, p. 25, 1978.

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

FRITZKE, B. (1994). Growing cell structures – A self-organizing network for unsupervised and supervised learning. **Neural Networks**, 7(9), 1441-1460. DOI: 10.1016/0893-6080(94)90091-4

GARBUGLIO, D. D. et al. Análise de fatores e regressão bissegmentada em estudos de estratificação ambiental e adaptabilidade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 183–191, 2007.

GARCIA, S. L. R. Importância de características de crescimento, de qualidade da madeira e da polpa na diversidade genética de clones de eucalipto. **Tese de doutorado**, 1998a.

GARCIA, S. L. R. Importância de características de crescimento, de qualidade da madeira e da polpa na diversidade genética de clones de eucalipto. **Tese de Doutorado -UFV**, 1998b.

GODSHALK, E. B.; TIMOTHY, D. H. Factor and principal component analyses as alternatives to index selection. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 76, n. 3, p. 352–360, 1988.

GOMES, F. J. B. et al. Influence of content and S/G relation of the wood lignin on kraft pulping performance. **O Papel**, v. 69, p. 95–105, 2008.

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.; NETO, H. F.; REGAZZI, A. J. Analysis of Wood Quality Criteria of *Eucalyptus* Wood for. **Revista Árvore**, p. 339–344, 2010.

GRANATE, M. J. et al. A análise de fatores na predição de ganhos por seleção em milho (*Zea mays* L.). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 23, n. 0, p. 1271–1279, 2008.

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.

HIGA, A. R.; CARVALHO, P. E. R. Sobrevivência e crescimento de doze espécies de eucalipto em Dois Vizinhos, Paraná. **In: Anais do VI Congresso Florestal Brasileiro; Campos do Jordão. São Paulo;**, p. 459, 1990.

HIGA, R. C. V. Aspectos ecológicos e silviculturais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 38, n. 1971, p. 121–122, 1999.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Comunicado Técnico EMBRAPA**, p. 1–4, 2003.

HILLIS, W. E. **Wood quality and Utilization**. IN: HILLIS, WE, BROWN, AG (eds.). *Eucalyptus* for wood production. 1978.

HSING, T. Y.; DE PAULA, N. F.; DE PAULA, R. C. Características dendrométricas, químicas e densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Ciencia Florestal**, v. 26, n. 1, p. 273–283, 2016.

IBA. Relatório 2017. **Indústria Brasileira de Árvores**, p. 80, 7 nov. 2017.

JARDIM, J. M. et al. Avaliação da qualidade e desempenho de clones de eucalipto na produção de celulose. **Revista O Papel**, v. 78, n. November, p. 352, 2017.

JOHNSON, R.; WICHERN, D. Applied Multivariate Statistical Analysis 6. **New Jersey: Prentice Hall.**, p. 773, 2007.

KITANI, E. C. Mapeamento E Visualização De Dados Em Alta Dimensão Com Mapas Auto-Organizados Mapeamento E Visualização De Dados Em Alta Dimensão. **Tese - USP**, 2013.

KLOCK, U. et al. Química da Madeira. **Manual Didatico. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal - Fupef do Paraná**, p. 86, 2005.

KOHONEN, T. The self-organizing map. **Proceedings of the IEEE**, v. 78, p. 1464–1480, 1990.

KUMAR, S.; DEO, N. Correlation and network analysis of global financial indices. **Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics**, v. 86, n. 2, p. 1–8, 2012.

LANGFELDER, P.; HORVATH, S. WGCNA: an R package for weighted correlation network analysis. **BMC Bioinformatics**, v. 11, n. 2, p. 515–522, 2008.

LANNA, A. E. et al. Maximizing pulp yield potential of Cenibra's wood supply. **In 7th Brazilian Symposium on the chemistry of lignins and other wood components.**, p. 2–5, 2001.

LUNA, R.; SINGH, B. Estimates of genetic variability and correlation in *Eucalyptus* hybrid progeny for early selection. **Indian Forester**, v. 135, n. 9, p. 147–160, 2009.

MAGATON, A. D. S. et al. *Eucalyptus* Wood Quality and its Impact on Kraft Pulp Production and Use. **Tappi Journal**, 2009.

MAGATON, A. S. et al. Behavior of *Eucalyptus* wood xylans across kraft cooking. **Journal of wood chemistry and technology**, v. 31, n. 1, p. 58–72, 2011.

MARCATTI, G. E. et al. GIS-based approach applied to optimizing recommendations of *Eucalyptus* genotypes. **Forest Ecology and Management**, v. 392, p. 144–153, 2017.

MENDONÇA, O. et al. Análise de fatores e estratificação ambiental na avaliação da adaptabilidade e estabilidade em soja. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 42, n. 11, p. 1567–1575, 2007.

MENEZES, I. R. Estimativa de parâmetros genéticos de características produtivas e reprodutivas de bovinos Nelore, utilizando análises multicaracterísticas, componentes principais e análise de fatores. **Tese de doutorado**, p. 53, 2017.

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.

MIRANDA, R. O. V. DE et al. Estratificação hipsométrica em classes de sítio e de altura total em plantios clonais de eucaliptos. **Advances in Forestry Science**, v. 1, n. 4, p. 113–119, 2014.

MITCHELL, H. L. A concept of intrinsic wood quality, and nondestructive methods for determining quality in standing timber. Wisconsin: **USDA Forest Service**, 1961. 25 p. (FPL, 2233)

MORAES, C. B. DE et al. Estimativas de parâmetros genéticos para seleção precoce de clones de *Eucalyptus* para região com ocorrência de geadas. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 42, n. 102, p. 219–227, 2014.

MOREIRA, E. Efeito da lixiviação ácida de cavacos de eucalipto no processo Kraft. **Tese de doutorado**, 2006.

MWASIAGI, J. I. (2011). Use of SOM to study cotton growing and spinning. In J. I. Mwasiagi (Ed.), *Self organizing maps – Applications and novel algorithm design* (p. 89-94). London, UK: IntechOpen. DOI: 10.5772/14106

NOGUEIRA, A. P. O. et al. Análise De Trilha E Correlações Entre Caracteres Em Soja Path Analysis and Correlations Among Traits in Soybean Grown in Two Dates Sowing. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 6, p. 877–888, 2013.

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

PAULA, K. R. DE. Análise da sulfidez no processo. **Monografia_UTPR**, 2017.

PEARCE, S. et al. FlowerNet: A Gene Expression Correlation Network for Anther and

Pollen Development. **Plant Physiology**, v. 167, n. 4, p. 1717–1730, 2015.

PEREIRA, J. C. D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de Eucalipto plantadas no Brasil.**

PESSONI, L. A. Estratégias de análise da diversidade em germoplasma de cajueiro (*Anacardium spp. L.*). **Tese de doutorado - UFV**, p. 1–15, 2007.

PONTES, D. S. Seleção de variáveis no estudo da diversidade genética via análise de procrustes. **Dissertação - UFV**, p. 2016, 2016.

PROTASIO, T. D. et al. Canonical Correlations Between Chemical and Energetic Characteristics of Lignocellulosic Wastes. **Cerne**, v. 18, p. 433–439, 2012.

RANALLI, P.; RUARO, G.; RE, P. DEL. Response to selection for seed yield in bean (*Phaseolus vulgaris*). **Euphytica**, v. 57, n. 2, p. 117–123, 1991.

RESENDE, M. D. V.; ASSIS, T. F. DE. Nota Científica Seleção Recorrente Recíproca entre Populações Sintéticas Multi- Espécies (SRR-PSME) de Eucalipto Reciprocal Recurrent Selection between Synthetic Multi Species Populations (RRS-. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 57, n. 1, p. 57–60, 2008.

REYS, E. Estatística multivariada aplicada. Lisboa: Edições Silabo, p.343, 1997.

RILEY, D.; CHASE, JR. C. C.; HAMMOND, A. C.; WEST, R. L.; JOHNSON, D. D.; OLSON, T. A.; COLEMAN, S. W. Estimated genetic parameters for carcass traits of Brahman cattle. **Journal of Animal Science**, v. 80, p. 955–962, 2002.

SABA, H. et al. Spatio-temporal correlation networks of dengue in the state of Bahia. **BMC Public Health**, v. 14, p. 4–9, 2014.

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, I. G. et al. Acta Scientiarum Self-organizing maps in the study of genetic diversity among irrigated rice genotypes. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 41, n. Cv, p. 1–9, 2019.

SARTO, C.; SANSIGOLO, C. A. Cinética da remoção dos extrativos da madeira de *Eucalyptus grandis* durante polpação Kraft. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 32, n. 3, p. 227–235, 2010.

SEGURA, T. E. S. et al. Programa de controle da qualidade da madeira na eldorado brasil celulose. **O Papel**, v. 78, n. 7, p. 82–89, 2017.

SILVA, A. R. DA et al. Correlation network analysis between phenotypic and

genotypic traits of chili pepper. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 4, p. 372–377, 2016.

SILVA, I. N. DA; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A. Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas. **São Paulo: Artliber**, v. 23, n. 5, p. 33–111, 2010.

SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; SANTOS, G.A. dos. Silvicultura e melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii*. 2012.

SILVA, M. G. DA. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Produtividade, idade e qualidade da madeira de *Eucalyptus* destinada à produção de polpa celulósica branqueada. **Tese - USP**, 2011.

SILVA, N. C. N. DA et al. O Uso Da Análise Fatorial Na Descrição E Identificação Dos Perfis Característicos. **Rev. Bras. Biom.**, v. 32, p. 201–215, 2014.

SILVA, P. H. M. DA; BRITO, J. O.; SILVA JUNIOR, F. G. DA. Potential of eleven *Eucalyptus* species for the production of essential oils. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 1, p. 85–89, 2006.

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

SMITH, K. A., & Ng, A. (2003). Web page clustering using a self-organizing map of user navigation patterns. **Decision Support Systems**, 35(2), 245-256. DOI: 10.1016/S0167-9236(02)00109-4

SOARES, C. P. B.; NETO, F. D. P.; DE SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. 2006.

SOUZA, Gustavo Souza Lima Bittencourt. Efeito da impregnação prolongada dos cavacos no rendimento e branqueabilidade da polpa kraft de eucalipto. 2016.

SOUZA, G. S. L. B. DE. Efeito da impregnação prolongada dos cavacos no rendimento e branqueabilidade da polpa kraft de Eucalito. Dissertação. **dissertação**, 2016.

TEIXEIRA, F. R. F. et al. Determinação de fatores em características de suínos. **Revista Brasileira de Biometria**, p. 130–138, 2015.

THOMAS, C. et al. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco comparativo. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 0103-9954, p. 319–327, 2006.

TRUGILHO, P. F. et al. Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 21, p. 259–267, 1997a.

TRUGILHO, P. F. et al. Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 21, n. 2, p. 259–267, 1997b.

TRUGILHO, P. F. et al. Características de crescimento, composição química, física e estimativa de massa seca de madeira em clones e espécies de *Eucalyptus* jovens. **Ciência Rural**, v. 45, n. 4, p. 661–666, 2015.

URSEM, R. et al. A correlation network approach to metabolic data analysis for tomato fruits. **Euphytica**, v. 161, n. 1–2, p. 181–193, 2008.

VEIGA, L. G. Estoque De Madeira Morta Ao Longo De Um Gradiente Altitudinal De Mata Atlântica No Nordeste Do Estado De São Paulo. **Dissertação - UNICAMP**, p. 87, 2010.

VENDRUSCOLO, D. G. S. et al. Estimativa Da Altura De Eucalipto Por Meio De Regressão Não Linear E Redes Neurais Artificiais. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 33, n. 4, p. 556–569, 2015.

VENTORIM, G. et al. Influência do número kappa , dos ácidos hexenurônicos e da lignina no desempenho da deslignificação com oxigênio Effect of pulp kappa number , lignin and hexenuronic acid contents on oxygen delignification performance meio alcalino e , por isso , afetam n. **Scientia**, p. 87–97, 2006.

VERMA, S. K.; SHARMA, S. K. Assessment of wood traits variation in the segregating populations of *Eucalyptus* hybrids. **Indian Forester**, v. 137, n. 6, p. 732–738, 2011.

XAVIER, A. et al. Aplicação da análise multivariada da divergência genética no melhoramento de *Eucalyptus spp.* **Revista Árvore - Viçosa**, v. 20, n. 4, p. 495–505, 1996.