

SILVIA APARECIDA ANGELO ROMÃO

**AGRUPAMENTO DE FAMÍLIAS DE *Pinus taeda* DE UM TESTE DE PROGÊNIES,
BASEADO EM CRESCIMENTO E EM CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DA
MADEIRA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação de Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Jorge L. M. de Matos
Co-orientadora: Dra. Luciana Duque Silva

CURITIBA

2009

DEDICATÓRIA

Aos meus verdadeiros amigos.

Aos meus irmãos na fé, pelo amor depositado por mim em seus corações.

A minha família pelo carinho e apoio, mesmo a distância.

Que DEUS os abençoe!

AGRADECIMENTOS

A DEUS

Ao programa de pós-graduação da Universidade Federal do Paraná.

Ao orientador Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos pela orientação, apoio profissional, pela oportunidade de convivência, pelos ensinamentos e confiança depositada em mim, pela oportunidade de trabalhar em um projeto de pesquisa multidisciplinar o que foi muito gratificante e acrescentou em muito minha formação, o qual um dos frutos foi a realização desse trabalho.

A Dra. Luciana Duque Silva pelas suas valiosas contribuições por meio de sua co-orientação e seu incentivo no decorrer e principalmente na fase final desse trabalho, assim como pela oportunidade de convivência nesse período.

Ao Prof. Dr. Antonio Rioyei Higa e a equipe do projeto “Uso da biotecnologia como ferramenta para a avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda*” pela oportunidade de trabalhar nesse projeto, o que me promoveu a convivência com profissionais de áreas distintas proporcionando pesos valiosos em minha formação profissional. Em especial as Dras. Juliana Vitória Messias Bittencourt, Milena de Luna Alves Lima, aos Msc. Juliane Rezende Mercer, Fabrício Antonio Biernaski e Paula Rachel Rabelo Corrêa Basílio, e a Sra. Carmen Daluz Ceccon, a todos pela atenção dispensada e contribuições sempre que precisei.

Aos senhores componentes da banca avaliadora por dispor de seu tempo e de seu conhecimento com sua contribuição científica na finalização desse trabalho.

Aos professores do curso de pós-graduação que participaram de minha formação e contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho. Em especial aos Drs. Graciela I. B. de Muñiz, Setsuo Iwakiri pelo constante incentivo, ao Drs. Marcio Pereira da Rocha pelas dicas e Ricardo Klitzke, aos dois pelo apoio no recebimento de material em laboratório. A todos pelo apoio, pela oportunidade de convivência e atenção dispensada sempre que precisei.

Aos funcionários do CIFLOMA, em especial aos senhores Vitor Daniel Herrera, Antônio Perin e Ademir José Cavalli pelo apoio na confecção das amostras e Gilnei Machado Rosa pela sua colaboração na coleta de material a campo, por sua amizade e incentivo à minha formação.

Aos colegas de convivência no período de mestrado, em especial aqueles que se preocuparam com meu bem estar pessoal e profissional neste período.

A equipe do Laboratório de Tecnologia da Madeira pelo apoio na realização prática desse trabalho. Não citarei nomes, pois poderei cometer alguma injustiça. Todos quantos participaram nesse trabalho contribuíram de forma expressiva para realização do mesmo.

A empresa Battistella Florestal nas pessoas da Eng. Florestal Fernanda Silveira e Vanderlei Franciscato da Silva e Sr. Adilson da Silva pelo apoio logístico no desenvolver de todo o trabalho, pelo material cedido e pelas informações fornecidas para realização do mesmo.

A Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP pela bolsa concedida para custeio da realização desta pesquisa de mestrado.

A todos que de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho e nesta fase de minha vida profissional.

¹Os que confiam no Senhor serão como o monte de Sião, que não se abala, mas permanece para sempre.

Salmos, 125.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi agrupar famílias de *Pinus taeda* L. procedentes de um teste de progênies baseado em crescimento e em características tecnológicas da madeira. O material foi obtido em uma área experimental localizada na região de Rio Negrinho região norte de Santa Catarina. Foram selecionadas 120 árvores de famílias de meio-irmãos, aos 10 anos de idade. As árvores foram derrubadas e logo após foram mensuradas suas características dendrométricas (DAP e altura). A seguir foram retirados discos na base, a 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, destinados à determinação da massa específica básica. Do fuste foram seccionadas duas toras, uma até a altura do DAP e a segunda até a altura de 25% do fuste. Das primeiras toras foram retirados corpos de prova para ensaio de cisalhamento, das segundas toras foram retirados corpos de provas para ensaios de compressão (determinação do MOE e MOR), determinação das massas específicas aparentes (verde, climatizada e 0% de umidade), e determinação dos coeficientes de retratibilidade. Em relação às características das árvores, as famílias apresentaram altura comercial média igual a $9,73 \pm 0,71$ m. Para o DAP a média geral encontrada foi de $20,73 \pm 1,55$ cm. A massa específica básica média foi igual a $388,03 \pm 15,18$ kg/m³. As massas específicas aparentes verdes, climatizadas e a 0% de umidade apresentaram valores médios de $587,13 \pm 53,83$ kg/m³, $419,02 \pm 20,81$ kg/m³ e $383,22 \pm 19,97$ kg/m³ respectivamente. Os valores médios dos coeficientes de contração máxima linear para as 120 famílias foram os seguintes: tangencial = $6,02 \pm 0,35$; radial = $2,97 \pm 0,27$; longitudinal = $0,26 \pm 0,07$; volumétrico = $9,02 \pm 0,50$. O valor médio do coeficiente de anisotropia foi de $2,11 \pm 0,17$. Os valores médios dos coeficientes de retração foram os seguintes: volumétrico = $0,35 \pm 0,02$; tangencial = $0,33 \pm 0,02$ e radial = $0,12 \pm 0,01$. Os valores médios obtidos para MOE e MOR no ensaio de compressão paralela foram respectivamente de $237,49 \pm 22,09$ kgf/cm² e $11990,19 \pm 2473,61$ kgf/cm². Para a variável tensão de cisalhamento o valor médio obtido das famílias foi de $87,59 \pm 6,46$ kgf/cm². A partir da matriz de médias das famílias caracterizadas por 17 variáveis analisadas com seus valores padronizados, foi realizada uma análise de componentes principais que permitiu destacar 6 autovalores que explicaram 82,51% da variância total das observações. A partir da definição desses seis componentes foi realizada a análise de agrupamento utilizando-se da distância Euclidiana para cálculo das distâncias entre as famílias e do método *K-means* para a formação dos *clusters*. O método permitiu a distribuição das 120 famílias em seis grupos baseados em características físicas e mecânicas visando utilização final distintas. A principal conclusão é de que foi possível agrupar as famílias provenientes de testes de progênie a partir de suas características físicas e mecânicas, o que permite a seleção de indivíduos com características para produção de madeira com distintas possibilidades de uso final.

Palavras chave: *Pinus taeda*, melhoramento genético, qualidade da madeira.

ABSTRACT

The objective of this study was to group families of *Pinus taeda* L. coming from progeny test in terms of technological characteristics of wood. The material was obtained from an experimental area located in the Rio Negrinho region of northern Santa Catarina 120 trees were selected from families of half-siblings, at 10 years of age. The trees were felled and measured their characteristics after dendrometric (diameter breast height and height). Soon after the killing, were removed from disks at the base, 25, 50, 75 and 100% of the commercial height, for the determination of specific gravity. The stem were cut two logs to the height of the DAP and follow this to the height of 25%. The first logs were removed from the specimens for shear tests. And of the second timber were removed from the bodies of evidence for compression tests (determination of the MOE and MOR), determination of bulk densities (green, pool, 0%), and coefficients of shrinkage. Regarding the characteristics of the trees, the families had time commercial with a mean of 9.73 ± 0.71 m. For DAP found the overall average was 20.73 ± 1.55 cm. For the average specific gravity was equal to 388.03 ± 15.18 kg/m³. The bulk densities green, air and 0% humidity showed average values of their 587.13 ± 53.83 kg/m³, 419.02 ± 20.81 kg/m³ and 383.22 ± 19.97 kg/m³. The average values of the coefficients of linear maximal contraction to 120 families were as follows: tangential = 6.02 ± 0.35 ; radial = 2.97 ± 0.27 ; longitudinal = 0.26 ± 0.07 ; volume = 9.02 ± 0.50 . The average coefficient of anisotropy was 2.11 ± 0.17 . The average values of the coefficients of contraction were as follows: volume = 0.35 ± 0.02 ; tangential = 0.33 ± 0.02 and radial = 0.12 ± 0.01 . The average values for MOR and MOE in compression parallel test were respectively 237.49 ± 22.09 kg/cm² and $11,990.19 \pm 2473.61$ kgf/cm². For the variable shear stress value obtained from families was 87.59 ± 6.46 kgf/cm². From the array of means of families characterized by 17 variables with their standard values, we conducted a principal components analysis which have demonstrated the 6 eigenvalues that explained 82.51% of the total variance of the observations. From the definition of the six components was performed cluster analysis using Euclidean distance to calculate the distances between the families and the K-means for the formation of clusters. The method allowed the distribution of the 120 families in six groups based on physical and mechanical characteristics of different end-use. The main conclusion is that it was possible the group of families from progeny tests based on their physical and mechanical characteristics, which the selection of individuals with separate features for timber production with different possibilities for end use.

Keywords: *Pinus taeda*, breeding, wood quality.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue agrupar familias de *Pinus taeda* L. originarias del prueba de progenie, en función de las características tecnológicas de la madera. El material fue obtenido en un área experimental ubicado en el Río Negrinho del Norte de Santa Catarina. De 120 árboles fueron seleccionados de familias de medios hermanos, de 10 años de edad. Los árboles fueron derrumbados y posteriormente fueron medidas sus características dendrométricas (DAP y altura). Después del derribo, fueron retirados discos de la base, a 25, 50, 75 y 100% de la altura comercial, destinados a la determinación de la masa específica básica. Del fuste fueron cortadas dos trozas hasta la altura del DAP y después de este hasta la altura de 25%. De las primeras trozas fueron retirados los cuerpos de prueba para ensayo de cizallamiento. Y de las segundas trozas fueron retirados los cuerpos de pruebas para ensayos de compresión (determinación del MOE y MOR), determinación de las masas específicas aparentes (verde, climatizada, 0%), y determinación de los coeficientes de contracción. En relación con las características de los árboles, las familias presentaron altura comercial promedio igual a $9,73 \pm 0,71$ m. Para el DAP, el promedio general encontrado fue de $20,73 \pm 1,55$ cm. La masa específica básica promedio fue igual a $388,03 \pm 15,18$ kg/m³. Las masas específicas aparentes verdes, climatizadas y la 0% de humedad presentaron valores promedios respectivos de $587,13 \pm 53,83$ kg/m³, $419,02 \pm 20,81$ kg/m³ y $383,22 \pm 19,97$ kg/m³. Los valores medios de los coeficientes de contracción máxima lineal de 120 familias fueron las siguientes: tangente = $6,02 \pm 0,35$; radial y = $2,97 \pm 0,27$; longitudinal = $0,26 \pm 0,07$; volume = $9,02 \pm 0,50$. El promedio de coeficiente de anisotropía fue $2,11 \pm 0,17$. Los valores medios de los coeficientes de contracción fueron los siguientes: volumen = $0,35 \pm 0,02$; tangencial = $0,33 \pm 0,02$ y radial = $0,12 \pm 0,01$. Los valores promedio obtenidos para MOE y MOR del ensayo de compresión fueron respectivamente de $237,49 \pm 22,09$ Kgf/cm² y $11990,19 \pm 2473,61$. Para la variable tensão de cisalhamento el valor promedio obtenido de las familias fue de $87,59 \pm 6,46$ kgf/cm². A partir de la matriz de medias de las familias, compuesta por las 17 variables analizadas con sus valores estandarizados, fue realizado un análisis de componentes principales que permitió destacar los 6 autovalores que explicaban un porcentual de 82,51% de la varianza total de las observaciones. A partir de la definición de esos seis componentes, se partió para la análisis de agrupación, utilizándose la distancia Euclidiana para cálculo de las distancias entre las familias y del método *K-means* para la formación de los *clusters*. El método permitió la distribución de las 120 familias en seis grupos basados con características distintas de utilización final. El principal conclusión es que fue posible el agrupamiento de las familias originarias del prueba de progenie basado en sus características físicas y mecánicas, que permite la selección de los individuos con funciones independientes de la producción de madera con diferentes posibilidades de uso final.

Palabras clave: *Pinus taeda*, mejoramiento genético, calidad de la madera.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. TENDÊNCIA DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PONDERADA NOS ESPAÇAMENTOS	25
FIGURA 2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	45
FIGURA 3. FOTO DA ÁREA EXPERIMENTAL (À ESQUERDA).....	46
FIGURA 4. TESTE DE PROGÊNIES DE <i>P. TAEDA</i> AOS 10 ANOS DE IDADE	47
FIGURA 5. ESQUEMA DE RETIRADA DO MATERIAL DE ESTUDO.....	48
FIGURA 6. RETIRADA DOS DISCOS E TORAS DO CAMPO	49
FIGURA 7. ESQUEMA DE RETIRADA DOS DISCOS E TORAS.....	50
FIGURA 8. ESQUEMA DE RETIRADA DOS CORPOS DE PROVA DE RETRATIBILIDADE DOS TORETES	52
FIGURA 9. ESQUEMA DE RETIRADA DOS CORPOS DE PROVA DE CISALHAMENTO.....	56
FIGURA 10. GRÁFICO “SCREE PLOT”	77
FIGURA 11. PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER PARA H_{COM}	154
FIGURA 12. PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER PARA DAP	155
FIGURA 13. PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER PARA TENSÃO (T_{CIS})	155
FIGURA 14. PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER PARA MOR	156
FIGURA 15. PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER PARA MOE.....	156
FIGURA 16. PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER PARA MEB.....	157
FIGURA 17. PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER PARA $ME_{0\%}$	157
FIGURA 18. PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER PARA AC.....	158

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. ESTATÍSTICA GERAL DAS CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DAS 120 FAMÍLIAS DE <i>P. TAEDA</i>	60
TABELA 2. ESTATÍSTICA GERAL DE MASSA ESPECÍFICA PARA AS 120 FAMÍLIAS DE <i>P. TAEDA</i>	62
TABELA 3. ESTATÍSTICA GERAL DE MASSA ESPECÍFICA PARA AS 120 FAMÍLIAS DE <i>P. TAEDA</i>	66
TABELA 4. ESTATÍSTICA GERAL PARA ANISOTROPIA E COEFICIENTES DE CONTRAÇÃO DAS 120 FAMÍLIAS DE <i>P. TAEDA</i>	68
TABELA 5. ESTATÍSTICA GERAL PARA MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE E TENSÃO DE CISALHAMENTO PARA AS 120 FAMÍLIAS DE <i>P. TAEDA</i>	70
TABELA 6. CORRELAÇÕES DE PEARSON ENTRE AS PROPRIEDADES AVALIADAS	73
TABELA 7. AUTOVALORES DOS COMPONENTES EXTRAÍDOS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO	78
TABELA 8. PESOS DOS COMPONENTES.....	78
TABELA 9. RESUMO DO PERCENTUAL DE DISTRIBUIÇÃO POR CLUSTER.....	81
TABELA 10. VALORES DOS CENTRÓIDES.....	81
TABELA 11. VALORES DOS CENTRÓIDES.....	81
TABELA 12. ESTATÍSTICAS PARA CLUSTER 1	82
TABELA 13. ESTATÍSTICAS PARA CLUSTER 2	82
TABELA 14. ESTATÍSTICAS PARA CLUSTER 3.....	83
TABELA 15. ESTATÍSTICAS PARA CLUSTER 4.....	83
TABELA 16. ESTATÍSTICAS PARA CLUSTER 5.....	84
TABELA 17. ESTATÍSTICAS PARA CLUSTER 6.....	84
TABELA 18. MANOVA - TESTE DE LAMBDA WILKS.....	88
TABELA 19. MANOVA - PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER	88
TABELA 20. CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS MÉDIAS DAS FAMILIAS	126
TABELA 21. MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA AS FAMILIAS	130
TABELA 22. VALORES DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE <i>PINUS TAEDA</i>	133
TABELA 23. COEFICIENTES DE CONTRAÇÃO LINEAR MÁXIMA	136
TABELA 24. COEFICIENTES DE ANISOTROPIA E CONTRAÇÃO.....	139
TABELA 25 – MÓDULOS DE ELASTICIDADE E RUPTURA	142
TABELA 26 – TENSÃO DE CISALHAMENTO PARA AS 120	145
TABELA 27 – MÉDIA DAS VARIÁVEIS PARA CLUSTER 1	148
TABELA 28 – MÉDIA DAS VARIÁVEIS PARA CLUSTER 2.....	149
TABELA 29 - MÉDIA DAS VARIÁVEIS PARA CLUSTER 3	150
TABELA 30 - MÉDIA DAS VARIÁVEIS PARA CLUSTER 4	151
TABELA 31 - MÉDIA DAS VARIÁVEIS PARA CLUSTER 5	152
TABELA 32 - MÉDIA DAS VARIÁVEIS PARA CLUSTER 6	153

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA MENSURAÇÃO DAS VARIÁVEIS E RESPECTIVOS CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO	57
QUADRO 2 – VALORES DE DAP E ALTURA COMERCIAL PARA <i>PINUS TAEDA</i> REGIÃO SUL DO BRASIL	61
QUADRO 3. VALORES DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DE <i>P. TAEDA</i> DA REGIÃO SUL DO BRASIL	63
QUADRO 4. VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE OUTROS AUTORES.....	65
QUADRO 5. COEFICIENTES DE CONTRAÇÃO MÁXIMA LINEARES DE <i>P. TAEDA</i>	67
QUADRO 6. FAMÍLIAS DESIGNADAS POR CLUSTER	86

LISTA DE EQUAÇÕES

LEI DE HOOKE (1).....	32
DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA (2)	33
CORRELAÇÃO DE PEARSON (3)	37
DISTÂNCIA EUCLIDIANA AO QUADRADO(4).....	40
DISTÂNCIA EUCLIDIANA (5)	40
DISTÂNCIA CITY BLOCK (6).....	40
LAMBDA DE WILKS(7)	42
MASSA ESPECIFICA BÁSICA (8).....	51
CONTRAÇÃO LINEAR MÁXIMA (9)	52
CONTRAÇÃO LINEAR MÁXIMA VOLUMÉTRICA (10)	52
RETRAÇÃO VOLUMÉTRICA (11)	52
RETRAÇÃO TANGENCIAL/RADIAL (12)	52
COEFICIENTE DE ANISOTROPIA (13)	52
MASSA APARENTE (14)	53
MÓDULO DE ELASTICIDADE (15)	54
MÓDULO DE RUPTURA (16).....	55
TENSÃO DE CISALHAMENTO MÁXIMA (17)	56

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	JUSTIFICATIVA	2
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2	REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1	CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DO GÊNERO <i>PINUS</i> DE RÁPIDO CRESCIMENTO	6
2.2	DEFINIÇÃO DE LENHO JUVENIL E ADULTO	7
2.3	MELHORAMENTO GENÉTICO X QUALIDADE DA MADEIRA	8
2.4	FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DA MADEIRA	12
2.4.1	Fatores inerentes a madeira	14
2.4.2	Fatores inerentes ao meio	24
2.5	PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA X QUALIDADE DA MADEIRA	30
2.5.1	Contração e inchamento	31
2.5.2	Módulo de elasticidade da madeira (MOE)	32
2.5.3	Módulo de ruptura da madeira (MOR)	34
2.5.4	Tensão de Cisalhamento	34
2.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	35
2.6.1	Análise de correlação entre variáveis	36
2.6.2	Análise de componentes principais	37
2.6.3	Análise de cluster (agrupamento)	39
3	MATERIAL E MÉTODOS	44
3.1	MATERIAL GENÉTICO E ÁREA EXPERIMENTAL	44
3.2	DELINEAMENTO DO TESTE DE PROGÊNIES E AMOSTRAGEM DO MATERIAL EM CAMPO	46
3.3	CONFEÇÃO DE CORPOS DE PROVA E DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS	50
3.3.1	Massa específica básica	50
3.3.2	Retratibilidade	51
3.3.3	Massa específica aparente	53
3.3.4	Determinação do Módulo de elasticidade à compressão	54
3.3.5	Determinação do Módulo de ruptura à compressão	55
3.3.6	Tensão de cisalhamento	55
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	58
3.4.1	Análise de correlação entre as variáveis	58
3.4.2	Análise dos componentes principais	58
3.4.3	Análise de cluster (agrupamento)	59
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
4.1	CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS	60
4.2	CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS	62
4.2.1	Massa específica básica e aparente	62
4.2.2	Retratibilidade	66
4.2.3	Compressão: Módulo de elasticidade e módulo de ruptura e tensão de cisalhamento	70
4.2.4	Estudo das correlações de Pearson entre as propriedades da madeira	72
4.2.5	Análise dos componentes principais	77
4.2.6	Agrupamento das famílias	79
5	CONCLUSÕES	89
6	RECOMENDAÇÕES	113
7	REFERÊNCIAS	114
8	APÊNDICES	126
9	ANEXOS	148

9.1	VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS POR CLUSTERS	148
9.2	GRÁFICOS DOS EFEITOS PRINCIPAIS POR VARIÁVEL ANALISADA	154

1 INTRODUÇÃO

A indústria de base florestal hoje representa 3,4% do PIB (Produto Interno Bruto) nacional e a indústria de madeira processada mecanicamente representa 1% desse montante. Esses percentuais representam respectivamente 9% e 2,1% do PEA (População Economicamente Ativa) nacional. Percentuais estes que são de grande importância e peso na economia nacional. Contudo, podem ser melhorados com esforços conjuntos governamentais, institucionais e privados em busca de desenvolvimento de tecnologias de melhoria na qualidade das matérias primas, que servem como fonte na geração dos produtos que compõem os percentuais desse setor econômico.

A matéria prima que abastece este setor é proveniente de espécies de florestas nativas e plantadas.

No passado, a maior parte do fornecimento de madeira era proveniente de árvores adultas de florestas naturais e pouca importância era dada à madeira juvenil das árvores. Atualmente, com o decréscimo constante do suprimento de árvores adultas com grandes diâmetros, provenientes de florestas naturais, tornou-se comum a produção de madeira em ciclos curtos, por meio da adoção de espécies de rápido crescimento. Assim espécies de rápido crescimento de plantios comerciais tem sido a solução para demanda desse consumo no país.

No âmbito global, em muitas regiões do mundo, plantações de grande escala cultivadas em breves rotações são cada vez mais usadas para fornecer madeira e fibras. A escala de produtos industriais madeiráveis a partir dessas florestas incluem em geral: madeira serrada, madeira compensada e laminada, painéis de madeira reconstituídos (MDF, OSB, aglomerado, etc.), componentes modulares (produtos laminados, molduras, pisos e revestimentos, etc.), polpa e papel, e cada vez mais a bioenergia (CARLE, 2008).

Estudos da FAO referentes a 61 países, que representam 95% das áreas de florestas plantadas existentes no mundo, apontaram uma perspectiva de aumento de 30% para as áreas de florestas plantadas e de 50% para a produção de madeira em 2030 (FAO, 2008).

O crescimento das florestas de rápido crescimento no Brasil também acompanha essa tendência global, tem evoluído nos últimos anos e apresenta perspectivas de crescimento para as próximas décadas. Sendo que essas florestas atingiram aproximadamente 6 milhões de hectares em 2007, representando 4,2% de crescimento comparado a 2006. Desse montante 30,2% são de florestas da espécie de *Pinus*, sendo a segunda espécie mais plantada no país (ABIMCI, 2008).

As espécies mais plantadas pertencem ao gênero *Pinus* e *Eucalyptus*.

Com a crescente substituição da madeira de espécies nativas tradicionais pela madeira dos *Pinus* plantadas nas regiões sul e sudeste do Brasil, há uma exigência cada vez maior na qualidade dessa madeira, necessitando ser mais homogênea e com a menor quantidade possível de nós e de outros defeitos (FOELKEL, 2008).

Especialistas em melhoramento genético têm buscado o aumento em produtividade dessa espécie por meio de programas de melhoramento genético baseados em características fenotípicas como: crescimento em diâmetro e altura, retidão de fuste e outras. Contudo é importante também a inclusão em programas de melhoramento das características físicas e mecânicas da madeira de forma que essa matéria prima venha a responder positivamente na qualidade do produto final provindo dessas florestas plantadas.

Assim se estabelece um desafio para o melhoramento genético e para profissionais da área de tecnologia da madeira que é o de encontrar grupos de árvores que possuam características tecnológicas desejáveis para dar continuidade aos futuros programas de melhoramento.

1.1 Justificativa

Em geral as variações verificadas nos diferentes materiais genéticos ocorrem de forma diferenciada, fazendo com que dificilmente se consiga encontrar grupos de árvores dotados de um número elevado de características desejadas (ASSIS, 2001). Assim considera-se importante a junção ou congregação dessas

características em grupos de árvores possibilitando a seleção de árvores que tenham maior quantidade de atributos tecnológicos desejáveis na sua madeira.

Alguns autores vêm investigando as propriedades da madeira, por meio de técnicas que possibilitem a avaliação de um conjunto de características simultaneamente, para produção de celulose e carvão vegetal. Estudos nesse sentido vêm sendo realizados como Caixeta *et al.* (2003), Lopes (2003) e Rodrigues (2008), que realizaram em seus trabalhos a seleção e classificação de genótipos superiores de *Eucalyptus* baseados em índices de qualidade da madeira.

Neste contexto a empresa Battistella Florestal com a preocupação de melhorar a qualidade de sua matéria prima que atende o mercado de madeira serrada, laminada e de compensados, implantou em suas instalações um teste de progênies com a espécie *Pinus taeda*, com sementes provenientes de árvores selecionadas de seus plantios comerciais. O objetivo foi selecionar árvores de bom crescimento e com características tecnológicas superiores da madeira a fim de melhorar a qualidade de seus plantios futuros.

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo geral avaliar a qualidade da madeira de árvores de um teste de progênie implantado pela empresa visando auxiliar um programa de melhoramento genético baseado nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, no atendimento da indústria de madeira processada mecanicamente e ainda, visando à utilização dessa madeira para múltiplos usos.

1.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar as propriedades físicas e mecânicas de 120 famílias de *Pinus taeda* por métodos tradicionais;
- b) Agrupar as 120 famílias estudadas por similaridade de características físicas e mecânicas;
- c) Indicar as aplicações para os grupos formados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A introdução de espécies florestais exóticas no Brasil proporcionou grandes benefícios para o desenvolvimento sócio econômico de diversas regiões do país, principalmente em áreas cujas características de solo e clima desestimularam a atividade agrícola (SAMPAIO, et al. 2000).

No Brasil, espécies do gênero *Pinus* vêm sendo plantadas há mais de um século, tendo sido, inicialmente, introduzidos para fins ornamentais e somente a partir de 1950 é que foram plantadas em escala comercial para produção de madeira (SHIMIZU e MEDRADO, 2006). Ganharam grande impulso nas décadas de 1970 e 1980, devido aos incentivos fiscais. Os plantios iniciais, feitos com sementes sem controle de qualidade (normalmente coletadas de povoamentos de baixa qualidade nas origens) resultavam em povoamentos de má qualidade de fuste e ramos, apesar do vigor da alta produção de biomassa lenhosa (BOGNOLA, 2007).

O gênero *Pinus* é composto por cerca de 100 espécies nativas de regiões temperadas e tropicais do mundo. *Pinus* é a palavra latina clássica. E para o *Pinus taeda* L. a designação *taeda*, é o antigo nome dado aos pinheiros resinosos. A distribuição dessa espécie é nativa de Piedmont e da planície costeira do sul de Nova Jersey e Delaware Florida central e de oeste para leste do Texas, e no Vale do Mississipi ao extremo sudeste do Oklahoma, Arkansas central e sul do Tennessee (USDA, 2000). A espécie é conhecida por vários nomes, sendo os mesmos: bastard pine, black pine, black slash pine, bog pine, buckskin pine, bull pine, Carolina pine, cornstalk pine, foxtail pine, frankincense pine, heart pine, Indian pine, kienbaum, lobby pine, loblolly pine, longleaf pine, longschap pine, longschat pine, longshucks, longshucks pine, longstraw pine, maiden pine, meadow pine, North Carolina pine, old pine, oldfield pine, pin a l'encens, pin taeda, pinho-teda, pino de incienso, pino dell'incenso, prop pine, Rosemary pine, sap pine, shortleaf pine, shortstraw pine, slash black pine, slash pine, soderns gul-tall, southern pine, southern yellow pine, spruce pine, swamp pine, sydstaternas gul-tall, taeda pine, taeda-pijn, torch pine, Virginia pine, Virginia sap pine, yellow pine (USDA, 2000) e arkansas pine (BAKER & LANGDON, 1990).

As plantações, inicialmente estabelecidas no sul do Brasil, formadas a partir de sementes importadas de diversas regiões do sul dos Estados Unidos, principalmente da Flórida, Geórgia, Alabama, Louisiana, Mississippi, Carolina do Sul e Carolina do Norte. No final da década de 1970, ocorreram também, introduções de material genético de pomares clonais da África do Sul, que foram constituídos de material genético provenientes de programas de melhoramento dos Estados Unidos (FEREIRA, 2005).

A preferência mundial pelo cultivo dessa espécie é devido a algumas características como: madeira de cor clara, variando de branca a amarelada; madeira de fibra longa; apropriada para fabricação de papel de imprensa e outros tipos de papéis e rusticidade e tolerância, possibilitando o plantio em solos marginais para agricultura e, assim, agregar valor a terra com a produção adicional de madeira, formação de cobertura protetora do solo e reconstituição de ambientes propícios à recomposição espontânea da vegetação nativa em locais degradados (SHIMIZU & MEDRADO, 2006). Também tem sido a espécie florestal exótica mais expressiva, economicamente, na região sul do Brasil (FERREIRA, 2005).

Nas condições brasileiras, o *P. taeda* se adaptou a solos ácidos, que constituem a maioria dos solos do país, permitindo a implantação de extensas áreas que, juntamente com a adoção de práticas silviculturais adequadas, tornou esta espécie importante fonte de matéria-prima, proveniente de plantações florestais estabelecidas dentro dos padrões de sustentabilidade (KRONKA *et al.*, 2005). Devido às condições climáticas, sua ampla capacidade de adaptação, sua diversidade de uso, seu rápido crescimento e ainda pelos menores teores de resina, o *P. taeda* tem sido uma das espécies preferidas para plantios em reflorestamentos comerciais nos planaltos da região sul do Brasil (BOGNOLA, 2007).

O principal uso das espécies do gênero *Pinus* é como fonte de matéria-prima para as indústrias de madeira serrada e laminada, chapas, resina, celulose e papel. A floresta de espécies do gênero *Pinus* é diferenciada pelo seu “multi-uso” porque, após o corte, sua madeira pode ser destinada à indústria laminadora, que a utiliza para fabricação de compensados; à indústria de papel e celulose; à indústria de MDF e, mesmo o seu resíduo, tem sido aproveitado como biomassa para geração de vapor e energia.

Atualmente os usos da madeira de *Pinus* segundo a ABIMCI (2008), são lâminas, compensado, madeira serrada e PMVA (Produtos de Maior Valor Agregado).

Em vista de sua ampla utilização para produção de papel e madeira, esta espécie tem sido o principal foco em programas de melhoramento florestal nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

2.1 Características da madeira do gênero *Pinus* de rápido crescimento

Devido ao rápido crescimento, as espécies do gênero *Pinus*, plantadas no sul do País, atingem dimensões comerciais ainda muito jovens (CASTELO, 2007). Alguns autores definiram diferenças entre as madeiras de menor idade em relação às de maior idade (PEARSON & GILMORE, 1971) relatando que em árvores mais jovens há maior quantidade de madeira juvenil.

A madeira juvenil corresponde a uma região central na árvore e tem forma cilíndrica, diâmetro mais ou menos uniforme, e estende-se da base até o topo da árvore, podendo formar parte do alburno ou do cerne no tronco, se este já estiver presente na árvore (KRAHMER, 1986; ZOBEL & BUIJTENEN, 1989; COWN, 1992; EVANS *et al.*, 2000).

Para Panshin & Zeeuw (1970) a madeira juvenil é aquela formada próxima à medula da árvore, caracterizada pelo progressivo aumento nas dimensões, pela mudança das características e pelo arranjo das células. Sendo que a madeira adulta possui células de tamanho relativamente constante, com um padrão estrutural bem desenvolvido e com comportamento físico estável.

Existem várias referências na literatura que ressaltam que as propriedades químicas, físicas, anatômicas e mecânicas da madeira juvenil são diferentes e, na maioria das vezes inferiores a da madeira adulta. Assim quando comparada a madeira adulta, a madeira juvenil difere por apresentar menor massa específica, maior ângulo de microfibrila da camada S2, traqueídeos mais curtos, menor contração transversal, maior contração longitudinal, maior proporção de lenho de reação, menor porcentagem de lenho outonal, paredes celulares mais finas, maior

conteúdo de lignina, menor conteúdo de celulose e menor resistência mecânica (PANSHIN & ZEEUW, 1970; LATORRACA & ALBUQUERQUE, 2000; GATTO *et al.*, 2008).

2.2 Definição de lenho juvenil e adulto

Vários estudos foram realizados a fim de determinar a idade de transição da madeira de lenho juvenil para a adulta de várias espécies: Bendtsen & Senft (1986) em *Pinus taeda* e *Populus deltoides*, Clark & Saucier (1989) em *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, Roos *et al.* (1990) em *Populus tremuloides*, Yang & Hazenberg (1994) em *Picea mariana* e Palma & Ballarin (2003) e Chies (2005) em *Pinus taeda*.

Segundo Zobel (1981) e Mcalister *et al.* (1997), nas florestas naturais de clima temperado a madeira juvenil normalmente esta contida numa pequena região do volume total da árvore, já nas florestas plantadas a quantidade de madeira juvenil é maior, especialmente naquelas árvores provenientes dos primeiros desbastes ou de plantações cortadas mais cedo. Sendo este fenômeno muito mais acentuado nas plantações das regiões tropicais. Bendsten (1978) conferiu que a demarcação entre madeira juvenil e adulta não é suficientemente clara, devido à mudança gradual nas propriedades da madeira.

A mudança das características da madeira juvenil para adulta não se dá de forma abrupta, mas sim gradativamente, de maneira que sua demarcação não é muito clara (CASTELO, 2007). Quase todas as propriedades físicas e químicas da madeira, dentro da zona juvenil, são muito variáveis e praticamente constantes na madeira adulta (ZOBEL, 1981).

No caso de *P. taeda*, segundo Tsoumis (1991), estima-se que em árvores de 15 anos de idade, 40% da madeira seja constituída por madeira juvenil e aos 40 anos de idade encontra-se aproximadamente 25%.

Kellinson (1981) constatou que a proporção de madeira juvenil numa tora depende da idade de corte quando comparou os percentuais de madeira juvenil em *Pinus taeda* de diferentes idades. Para a idade de 15 anos encontrou 76% de madeira juvenil em peso seco e 95% em volume.

Zobel *et al.* (1981) consideraram madeira juvenil aquela formada até o 10º anel de crescimento e o lenho adulto como aquele formado a partir do 7º até o 20º anel anual.

Palma & Ballarin (2003) estudando *Pinus taeda* L. de 37 anos consideraram a madeira de lenho juvenil até o 14º anel.

Pesquisadores, como Erickson & Harrison (1974), Goggans (1961), Hallock (1968), concordam que a madeira juvenil tem seu limite em alguma parte do 5º ao 20º anel.

Zobel (1981) e Kramher (1986) caracterizam esses tipos de madeira baseado na evolução dos elementos anatômicos que os constituem. A madeira adulta refere-se àquela que apresenta traqueóides estabilizados em crescimento. Para *P. taeda*, essa estabilização foi encontrada a partir do intervalo do 11º ao 13º anel de crescimento para árvores de 30 anos de idade.

Mendonça (1982) encontrou a estabilização do comprimento dos traqueóides de *P. elliotii*, com 17 anos de idade, a partir do intervalo do 8º ao 11º anel de crescimento.

2.3 Melhoramento genético x qualidade da madeira

A abordagem sobre qualidade da madeira inclui vários parâmetros e enfoques, sendo que o grau de importância de cada aspecto está intimamente relacionado ao uso da matéria prima (energia, celulose, serraria, laminação, lápis, aglomerado etc.) (CARLE, 2008).

Quanto aos métodos e estratégias de melhoramento com ênfase à qualidade da madeira de *Pinus*, na literatura encontraram-se poucas referências, as existentes abordam predominantemente a densidade básica (ZOBEL & KELLISON (1973); MATZIRIS & ZOBEL, 1973; JETT & TALBERT, 1982; ZOBEL & TALBERT, 1984; SILVA, 1984; MORAES, 1987)

Considerando a variação natural que existe para as diversas características herdáveis que são importantes em termos de qualidade da madeira, seja a nível de espécie, procedência, progênie e indivíduo, nota-se que há um enorme potencial

para os programas de melhoramento e, ao mesmo tempo, relativamente poucos estudos acerca do controle genético de tais características, à exceção da densidade básica, pelo fato da mesma ser uma das principais características de avaliação de qualidade, além da maior facilidade de amostragem e mensuração (SANTOS *et al.*, 1993).

De acordo com ZOBEL & KELLISON (1973), as correlações entre as propriedades da madeira e crescimento, forma e outras são nulas ou levemente negativas para os *Pinus* subtropicais, sendo possível, portanto, selecionar para: crescimento, forma, resistência a doenças e adaptação e, dentro dos indivíduos selecionados, escolher adicionalmente árvores com a qualidade de madeira desejada. As características: densidade básica, comprimento e largura de traqueóides e espessura da parede são altamente herdáveis segundo os dados apresentados na literatura.

Assim, a questão do melhoramento para qualidade da madeira em *Pinus* é um campo aberto para investigações, sendo que muitas características da madeira diferentes da densidade não têm sido consideradas. Levando-se em consideração a influência do ambiente especificamente sobre a densidade adicionalmente é importante considerar a intervenção no mesmo como estratégia para modificá-la e conseqüentemente, alterar a qualidade e propriedades da madeira (SANTOS *et al.*, 1993).

Existem várias entidades no mundo trabalhando para o melhoramento genético de espécies florestais. Pode-se citar entre estas para as espécies de *P. taeda* e *P. radiata* a USDA (United States Department of Agriculture), NZFI (New Zealand Forestry Institute), NCSU (North Carolina State University e IPEF (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais) (AMBIENTE BRASIL, 2009) e a UFPR (Universidade Federal do Paraná).

A integração entre as áreas industrial e florestal em qualquer empreendimento é de relevante importância para o sucesso dos esforços voltados ao melhoramento da qualidade da madeira. A adoção do método ou estratégia ideal é tomada pelo profissional da área florestal, mas os objetivos do trabalho devem ser fruto de uma definição tomada em conjunto com a área industrial e de marketing (SANTOS *et al.*, 1993). Segundo o mesmo autor questionar a forma como o melhoramento genético vem sendo realizado e até que ponto tem contribuído de forma efetiva para a

melhoria da qualidade da madeira em *Pinus*, é avançar no processo de aprimoramento contínuo e manter-se competitivo no mercado.

Efeitos do melhoramento genético na qualidade da madeira

A produtividade das espécies do gênero *Pinus* tem evoluído desde 1980 de 19m³/ha/ano para 35m³/ha/ano em 2007, representando um crescimento de 84% (SBS, 2008) nesse período. O crescente aumento de produtividade observado em plantios do gênero *Pinus* tem sido principalmente oriundo do uso de material geneticamente superior, provenientes de programas de melhoramento genético em várias empresas do setor.

Atualmente com a tendência mundial voltada à produtividade em função da qualidade e sustentabilidade da atividade florestal, os produtores florestais contemplam a necessidade de desenvolver essa tecnologia para manterem-se competitivos no mercado. Por tanto como parte integrante desse processo, o melhoramento de *Pinus taeda* continuará tendo importância “*sine qua non*” para o sucesso de empresas do setor (FERREIRA, 2005).

Há pouco tempo os programas de melhoramento genético preocupavam-se apenas com algumas características ligadas mais estreitamente a produtividade dos plantios. Características essas como: crescimento, forma de fuste e adaptabilidade. Uma das únicas propriedades incluída nesses programas era a massa específica (NISGOSKI, 2005). Segundo a autora uns dos motivos era por esta propriedade estar correlacionada de forma positiva a outras propriedades da madeira. Entretanto, esses plantios eram estabelecidos sem levar em conta características tecnológicas da madeira ligada de forma mais ampla a qualidade do produto final a ser produzido, ou seja, esses plantios não eram conduzidos de forma a obtenção de múltiplos produtos de qualidade. Propriedades como resistência mecânica e retratibilidade da madeira, que são consideradas importantes para vários usos, não foram consideradas por pesquisadores, em alguns de seus trabalhos.

Hoje o objetivo do melhoramento florestal não é apenas a geração de florestas com alta produção de madeira. À produtividade também deve-se incorporar

outros índices de qualidade da madeira que propiciem a produção de produtos industrializados com alto conteúdo tecnológico e portanto de maior valor comercial (RODRIGUES *et al.*, 2008).

Um ponto de fundamental importância a se considerar no desenvolvimento de programas de melhoramento genético para determinada finalidade, é o conhecimento da existência de variabilidade nas características de interesse e o nível de controle genético na expressão das mesmas. Se existe variabilidade e, principalmente, se a participação de componentes genéticos na manifestação das características for expressiva, pode-se prever possibilidade de se promover alterações desejadas nas características sob seleção. Variações da madeira em termos de qualidade e produtividade podem ser verificadas entre espécies, procedências, famílias e indivíduos (ASSIS, 2001).

O melhoramento de árvores pode reduzir as diferenças entre as propriedades da madeira juvenil e adulta, e ainda entre lenho inicial e tardio. Como exemplo pode aumentar a densidade da madeira juvenil de 0,50 para 0,60 g/cm³ em *Pinus taeda* (LOO *et al.* 1985). A herdabilidade estimada indica que a massa específica da madeira e o conteúdo de umidade estão sob forte controle genético, enquanto o comprimento dos traqueóides está sob moderado a forte controle. Há forte correlação negativa entre a massa específica e o conteúdo de umidade em plantações de 7 a 11 anos (SCHULSTZ, 1997).

Definição dos atributos da qualidade ao melhoramento genético

Segundo Rodrigues *et al.* (2008), para se estabelecer um programa de melhoramento florestal, é importante que o setor industrial defina os atributos da madeira, com níveis de qualidade ideais para a obtenção de seus produtos finais. E que no atual estágio de melhoramento genético da madeira, a estratégia mais lógica é a definição de poucos atributos de qualidade da madeira para serem avaliados em maior detalhamento sob o ponto de vista da amostragem e da obtenção de ganhos genéticos que reflitam maiores ganhos econômicos.

Lopes (2003) trabalhando com agrupamento de 63 genótipos de *Eucalyptus grandis* baseado em características dendrológicas, fenotípicas e tecnológicas, encontrou a formação de 4 grupos superiores e diferenciados para as seguintes variáveis: DAP (diâmetro a altura do peito); altura total e altura comercial das árvores; conicidade; fator de forma com casca; volume comercial com e sem casca; percentuais volumétricos de casca, cerne e alburno; massa específica básica; massa seca; rachaduras de topo; rachaduras das tábuas, encurvamento; índice de nós; diâmetro do maior nó.

Caixeta *et al.* (2003) trabalhando com seleção de 44 genótipos de *Eucalyptus* e classificando-os em função de propriedades físicas, mecânicas e químicas, obtiveram a formação de 11 grupos diferenciados em características como: resistência a compressão paralela às fibras; módulo de ruptura à flexão estática, contrações radial e volumétrica; coeficiente de anisotropia; densidade básica; teor de cinzas; extrativos solúveis em água quente e teor de lignina total.

Os autores utilizaram-se de técnicas multivariadas de agrupamento para a formação dos grupos. Portanto, é possível a avaliação simultânea de índices de qualidade para alocação dessas características, desejáveis no melhoramento genético, em grupos de genótipos. Bem como a definição por meio dessas técnicas das características mais relevantes dos indivíduos com possibilidades de maior acerto na seleção baseada nas mesmas.

2.4 Fatores que afetam as propriedades da madeira

Todos os estágios da vida de uma árvore são controlados por genes, podendo haver variação genética entre árvores vizinhas de um povoamento. Por exemplo, árvores individuais têm níveis bem diferentes de monoterpenos indicando que tanto a quantidade como qualidade dos mesmos estão sob um forte controle genético. Estudos de crescimento de povoamentos de *P. taeda* jovens e velhos mostram que há muita variação não explicada entre árvores individuais em sítios uniformes. Estes estudos provam que há uma variação genética substancial em

fecundidade, sobrevivência, crescimento, forma e resistência a insetos e pragas entre árvores individuais (SHULTZ, 1997).

O controle genético é a maior causa da variação da maioria das propriedades da madeira. A madeira é controlada genética e diretamente pelo desenvolvimento de processos internos de formação, indiretamente pelo controle do formato da árvore e modelo de crescimento (ZOBEL & JETT 1995).

Muitos estudos buscam de forma direta ou indireta explicar as variações das propriedades da madeira, seu controle e efeito na qualidade do produto final. No entanto, as propriedades da madeira são freqüentemente afetadas por mudanças de crescimento. Interferências causadas pelo uso de material genético, clonagem, tratamentos silviculturais e insumos (adubos e resíduos orgânicos) podem afetar a madeira diretamente, devido a mudanças fisiológicas na árvore acarretando alterações na sua forma e modificando os padrões e taxas de crescimento. É importante, portanto, conhecer as causas dessa variação e os seus diferentes efeitos sobre as propriedades da madeira em uso (ZOBEL & JETT, 1995; ZOBEL & BUIJTENEN, 1989; MATOS, 2003).

Alguns autores classificam os fatores que influenciam na qualidade da madeira como: inerentes a madeira e inerentes ao meio. Os fatores relacionados a madeira são teor de umidade, espécie, idade, posição no tronco, madeira juvenil, largura e uniformidade dos anéis de crescimento, percentual de lenho tardio, inclinação da grã e nodosidade. E os fatores relacionados ao meio são: sítio de crescimento, taxa de crescimento, localização geográfica, práticas silviculturais, espaçamento, desbaste, poda, adubação, irrigação e drenagem.

Assim, conceituar qualidade da madeira se torna um exercício um tanto difícil do ponto de vista tecnológico uma vez que essa qualidade depende do uso final a que se pretende. Fuste cilíndrico livre de nós, crescimento em diâmetro e altura, alta densidade, resistência a agentes biodegradadores, são características desejáveis para aplicação tecnológica em geral.

2.4.1 Fatores inerentes a madeira

Teor de umidade

A umidade pode ser definida como a quantidade de água presente em uma amostra em relação a sua massa seca (KOLLMANN, 1959).

Uma árvore recém cortada contém grande quantidade de água, variando seu teor de umidade segundo a época do ano, a região e a espécie. E a água se encontra nas três diferentes formas seguintes: de água livre que ocupa as cavidades celulares do lúmen dos elementos vasculares; água higroscópica (de impregnação) que se encontra impregnada nas paredes celulares e a água de constituição que forma parte da estrutura das paredes celulares. Assim a madeira irá sofrer mudanças dimensionais, quando houver perdido todo o conteúdo de água livre e começar a perder a água higroscópica. A partir desse momento começará a entrar em equilíbrio higroscópico com o ambiente a que esteja exposto. As madeiras mais leves por serem mais porosas contêm maior quantidade de água livre que as madeiras pesadas.

Diversos autores constataram que a umidade de equilíbrio depende de vários fatores, como a espécie, porcentagem de lignina e celulose, quantidade de extrativos e tratamento térmico e químico dados à madeira. Outro fator que tem influência na umidade de equilíbrio é a temperatura de secagem a qual a madeira é submetida. Esse fator também pode influenciar as propriedades mecânicas relacionadas à flexão estática, ao módulo de elasticidade e ao módulo de ruptura (GATTO, 2008).

A umidade de equilíbrio da madeira varia com a temperatura e com a umidade relativa do ar e apresentará distintos valores segundo a região em que se encontre (WEBER, 2005).

A maior parte das propriedades de resistência e elásticas características da madeira variam inversamente com a umidade da madeira abaixo do ponto de saturação das fibras e acima deste, essas propriedades se tornam constantes com as mudanças no teor de umidade (PANSIN & ZEEUW, 1970). A umidade interfere nas propriedades da madeira reduzindo sua resistência mecânica, seu poder

calorífico e por outro lado facilitando a trabalhabilidade, aumentando o rendimento e quantidade de polpa celulósica, e aumentando a suscetibilidade ao ataque de fungos e insetos.

Espécie

A madeira constitui-se de um material lenhoso formado por células dispostas nos sentidos radial e axial, ligadas entre si por lignina, tendo a ação como a do concreto que confere sustentação ao tronco. Estas células passaram por vários estágios de desenvolvimento, como a divisão celular, diferenciação e maturação, sendo influenciadas em cada um desses estágios por fatores genéticos, edáficos, climáticos, silviculturais, geográficos, dentre outros (ZOBEL, 1989). Assim as propriedades anatômicas e físico-mecânicas variam entre espécies, entre indivíduos de uma mesma espécie, bem como num mesmo indivíduo (MUNIZ, 1993).

Idade e posição na árvore

As espécies do gênero *Pinus* apresentam no sentido axial, tendência de aumento do comprimento de fibras até o meio do tronco, decrescendo a partir daí em direção a copa (DINWOODIE, 1965; COWN, 1975; TOMASELLI, 1979; MENDONÇA, 1982; CORSON, 1984; MUNIZ, 1993; SHIMOYAMA, 2005).

Com o aumento da idade as células cambiais passam a produzir células com maiores dimensões até atingirem a estabilização em idades mais avançadas (COWN, 1975; TOMAZELLO FILHO, 1985; SHIMOYAMA, 2005). Desta forma há um aumento no comprimento das fibras no sentido medula-casca (COWN, 1975; COWN, 1992; KIBBLEWHITE, LLOYD, 1983; MUNIZ, 1993, KLOCK, 2000; SHIMOYAMA, 2005).

A árvore em geral forma anéis de crescimento mais largos no seu interior, próximo à medula, e anéis estreitos na parte mais externa, próximo a casca.

Ocorrem variações de porcentagem de lenho inicial e lenho tardio, resultando em variações da densidade de massa (KLOCK, 2000).

Outro aspecto importante relacionado com a posição no tronco é a ocorrência da madeira juvenil e da madeira adulta em espécies de rápido crescimento. A grande diferença entre os dois tipos de lenho está na massa específica. A madeira juvenil é bem mais leve, de menor massa específica, apresentando menor resistência que a madeira adulta, de maior massa específica (PANSIN, 1970).

Souza (2007) estudando o efeito da idade e da posição radial na densidade básica em *Pinus taeda* L. nas idades de 9, 13 e 20 anos, concluíram que a idade da árvore influenciou na densidade básica e que há aumento no sentido medula-casca. Weber (2005), caracterizando madeira de *Pinus taeda* origem Marion do norte da província de Misiones concluiu que com o aumento da idade aumenta a resistência da madeira e ainda concluiu que as propriedades físicas e mecânicas manifestaram uma variação em altura, diminuindo da base até o ápice.

Ao longo do tronco existem ainda grandes variações da massa específica, encontrando-se um valor máximo na base do topo, onde são requeridos tecidos de sustentação mais rígidos. A massa específica decresce a medida que se distancia da base em direção à copa (SPURR & HSIUNG, 1954 citado por KLOCK, 2000).

Assim a avaliação da qualidade de uma espécie deve se levar em conta a posição da árvore que será avaliada e para qual aplicação final deseja-se obter esses resultados.

Massa específica

A massa específica da madeira é considerada pelas indústrias de base florestal, como uma das mais importantes propriedades por ser de fácil determinação e por estar correlacionada com rendimentos e características de diversos produtos, além de ser alterada por meio de práticas silviculturais e manipulada geneticamente (ZOBEL, 1961 citado por CASTELO, 2007).

Quando a qualidade da madeira está incluída em um programa de melhoramento florestal, a variável tradicionalmente avaliada é a massa específica da madeira, pela facilidade de determinação, forte ligação com a produtividade e qualidade dos produtos oriundos da madeira e por representar uma resposta das características anatômicas e químicas das espécies (NISGOSKI, 2005).

O melhoramento de árvores pode reduzir as diferenças entre as propriedades da madeira juvenil e adulta, e entre lenho inicial e tardio. Por exemplo, pode aumentar a densidade da madeira juvenil de 0,50 para 0,60 g/cm³ em *P. taeda*. Em adição, a densidade de árvores com 25 anos pode ser prevista razoavelmente com base na densidade de árvores com 2 anos (LOO et al. 1985).

A massa específica de um corpo é a relação entre sua massa e seu volume. Para a madeira, material higroscópico, a massa específica é dependente do teor de umidade em que se apresenta. Na literatura encontram-se em geral três formas de se expressar a massa específica da madeira; massa específica aparente, em que a massa e o volume são determinados num mesmo teor de umidade; massa específica a 0% que é a relação entre massa e volume a 0% de umidade e massa específica básica que é determinada pela relação massa seca a 0% de umidade e volume verde (saturado em água). A escolha de uma dessas expressões dependerá da finalidade de utilização dos resultados.

Em termos gerais, a massa específica da madeira depende do tamanho das células, da espessura das paredes celulares, e da inter-relação entre o número de células de vários tipos, para essas duas características. As fibras são particularmente importantes na determinação da massa específica, uma vez que suas pequenas seções transversais permitem um grande número delas em um menor volume. Se as fibras são de paredes espessas e tem pequenos lumens, então, o total do espaço é relativamente pequeno e, a massa específica tende a ser elevada. Por outro lado, se eles são de paredes finas ou de grande lúmen, ou ambas, a massa específica será baixa (PANSKIN & ZEEUW, 1970).

A massa específica real é similar para todas as madeiras, podendo variar de 1,53 e 1,56 g/cm³, representando a massa específica de cada um dos principais componentes da madeira: celulose (1,58 g/cm³), lignina (1,38 g/cm³ a 1,41 g/cm³).

A massa específica aparente é caracterizada por apresentar grande variação entre espécies, dentro da mesma espécie ou mesmo dentro de uma árvore (KLOCK, 1989).

Para as coníferas de maneira geral a massa específica aumenta da medula para casca e esse aumento deve-se a menor taxa de crescimento (CHIES, 2005).

A massa específica básica é talvez o critério mais utilizado para avaliação da qualidade da resistência da madeira. É a fração entre o peso de uma amostra de madeira e o peso de um volume igual de água, a uma temperatura padrão; e por isso mesmo adimensional. Usualmente utiliza-se o peso seco e o volume verde da amostra de madeira. Devido a sua praticidade e utilidade como critério de avaliação, pesquisadores tem procurado relação entre densidade básica e as condições de crescimento das árvores (PUEHRINGER, 2002).

Na madeira juvenil a massa específica básica aumenta rapidamente com o desenvolvimento do anel de crescimento. Além da zona de madeira a massa específica básica continua a aumentar, porém este incremento é mais gradual devido a uma porcentagem mais consistente de lenho outonal associado à maturidade do anel de crescimento. As porcentagens de lenho outonal não são constantes, e por isso a densidade básica da madeira adulta pode variar com as variações sazonais do clima e das condições de sítio (KOLLMANN, 1950).

Percentual de lenho juvenil e adulto e influências do lenho juvenil às propriedades da madeira

Para Zobel (1981) e Krahmer (1986) na região de madeira juvenil os traqueídeos são mais curtos, e ainda mais curtos próximo da medula, aumentando rapidamente na zona de madeira juvenil em direção à casca. Mudanças no comprimento dos traqueídeos na zona adulta da árvore são muito pequenas.

Loo et al. (1985) reportaram que a idade de transição da madeira juvenil para adulta, mensurada por meio das variações de densidade ou do comprimento das fibras difere de acordo com as espécies. Por exemplo, essa transição, avaliada pela variação de densidade, ocorre entre 5 e 6 anos em *Pinus elliottii*, *Pinus caribaea* e *Pinus radiata*, aproximadamente aos 10 anos em *Pinus taeda* e 20 anos em *Pinus ponderosa*. E para Zobel & Buijtenen (1989), essa mudança não se processa da mesma forma para as diferentes características e propriedades da

madeira. Como exemplo, a estabilização e a mudança se dão de maneira mais rápida para a densidade do que para o comprimento dos traqueídeos.

A madeira juvenil segundo a literatura caracteriza-se por: menor massa específica, maior ângulo das microfibrilas na camada S2, traqueídeos mais curtos, contração transversal menor, maior contração longitudinal, maior proporção de lenho de reação, menor porcentagem de lenho tardio, paredes celulares mais finas, maior conteúdo de lignina e hemicelulose, menor conteúdo de celulose e menor resistência, em relação à madeira adulta, grã distorcida (BENDTSEN, 1978; ZOBEL, 1984 e LARSON et al., 2001).

Peças estruturais que contenham uma determinada quantidade de lenho juvenil apresentam classes de resistência inferiores, sendo este o motivo pelo qual as diferenças entre as propriedades do lenho juvenil e adulto são importantes para a utilização da madeira (MCALISTER & CLARK, 1991; GEIMER et al., 1997).

Segundo Larson et al. (2001), os módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) da madeira são altamente correlacionados com a massa específica, portanto são influenciados pela qualidade da madeira juvenil.

Alguns estudos apresentaram resultados com diferenças significativas para lenho juvenil e adulto para essas e outras propriedades da madeira de *Pinus taeda* e relatam que o MOE e a resistência à compressão paralela e normal, a flexão estática e a tração paralela são seriamente afetadas pela presença de madeira juvenil (PERSON & ROSS, 1984; BENTDSEN & SENF, 1986; PEARSON, 1988; KRETSCHMANN, 1997; MCALISTER et al., 1997; EVANS et al., 2000).

Palma & Ballarin (2003) encontraram para MOE e MOR de madeira adulta em relação a juvenil os respectivos percentuais de 54 e 47% e para massa específica aparente (12%) a diferença encontrada foi de 26%.

Para a massa específica da madeira juvenil e adulta em coníferas. Bendtsen (1978), em *Pinus caribaea*, encontrou valores de 0,36 e 0,68 g/cm³ para os lenhos juvenil e adulto; Clark et al. (1989), em *Pinus taeda*, com 28 anos e em diferentes localidades geográficas, encontraram uma diferença que foi de 14 a 21% menor na madeira juvenil; McAlister & Clark (1991), em *Pinus taeda* com 36 anos de idade e três localidades distintas, encontraram uma diferença de 22 a 28% menor entre as densidades da madeira juvenil; Yang & Hazengerg (1994), em *Picea mariana* com 38 anos de idade, determinaram uma diferença 8% maior na densidade da madeira juvenil, em árvores com espaçamento inicial de 1,8 x 1,8 m em relação a

espaçamentos maiores; e Kretschmann (1997), em *Pinus taeda* com 28 anos de idade, encontrou uma diferença 15% menor na madeira juvenil e Bendsten (1978), relatou que a massa específica da madeira juvenil de várias espécies do gênero *Pinus* é baixa em relação à madeira adulta, 360 kg/m^3 e 680 kg/m^3 para madeira juvenil e adulta respectivamente, dados relatados para árvores de 40 anos de idade.

Largura e uniformidade dos anéis de crescimento e percentual de lenho tardio

Os chamados anéis de crescimento são as duas camadas entre a casca e o xilema (madeira) formados anualmente pelo sistema cambial. Uma camada é formada nas estações da primavera e do verão são denominadas em geral na literatura de lenho inicial ou primaveril. A outra camada formada no período do outono e inverno é denominada de lenho tardio ou outonal. Assim nas estações da primavera e verão há mais disponibilidade de luz, calor e água no solo e a taxa de hormônios aumenta e a árvore apresentará um intenso crescimento vegetativo o que induz as células cambiais a rápidas divisões e estas não tem tempo suficiente para crescimento em comprimento e em espessura da parede antes de acontecer a próxima divisão. Logo, as células do lenho inicial serão mais curtas, mais largas, de diâmetros de lumens acentuados e paredes finas. Já no final do período de outono e inverno a planta reduz sua atividade vegetativa, produzindo lenho tardio com fibras espessas, mais delgadas, com diâmetro de lúmen significativamente menores e aspecto escuro (PANSHIN & ZEEUW, 1970; MUNIZ, 1993; KLOCK, 2000; HASSEGAWA, 2003).

A proporção entre os lenhos inicial e tardio é uma variável freqüentemente observada em numerosos estudos sobre a qualidade da madeira. Muitos autores determinaram esta proporção, mostrando correlações significativas com a massa específica, propriedades de resistência e outros fatores, como espécie, sítio e idade. A percentagem de lenho tardio é a característica da madeira mais facilmente determinada e, por isso, a mais utilizada. Por ser altamente relacionada com a massa específica da madeira e por proporcionar um índice visual de resistência e

propriedades estruturais, é uma característica muito utilizada como regra de classificação em qualidade de madeira (CASTELO, 2007).

Para conseguir uniformidade dos anéis de crescimento, uma taxa constante de incremento deve ser mantida não somente no período juvenil, mas também durante a transição de lenho juvenil para adulto e além. Uma taxa uniforme de crescimento, entretanto, não significa que os anéis terão as mesmas dimensões. É impossível manter a igualdade dos anéis já que a árvore cresce em diâmetro e em volume. O que uniformidade significa é que os anéis decrescem com a idade da árvore, tendo constante a taxa de crescimento estabelecida na formação da madeira juvenil (LARSON *et al.*, 2001; PUEHRINGER, 2002).

Ângulo microfibrilar

A parede celular é constituída por: parede primária – onde as fibrilas de celulose são arranjadas em delgadas camadas que se cruzam formando um aspecto de redes; parede secundária – camada espessante da célula é depositada sobre a parede primária após seu crescimento superficial ter-se completado, a qual consiste de 3 camadas sendo externa (S1), media (S2) e interna (S3).

O espessamento da parede secundária é considerável podendo variar de 1 a 10 μm com a porcentagem de celulose podendo chegar a 90% ou mais, resultando em um arranjo denso e paralelo dependendo das fibrilas.

Pelo fato da camada S2 incluir 60 a 80% da parede celular, esta camada tem a maior influência dominante sobre a contração e inchamento e outras propriedades físicas. A pequena quantidade inchamento longitudinal normal da madeira pode ser atribuído à componente transversal do ângulo microfibrilar da camada S2 e ao inchamento das camadas S1 e S3 com seus essencialmente transversal ângulos microfibrilares. Além disso, estas camadas contribuem para a estabilidade dimensional da madeira, limitando a expansão da camada S2, e tendem a manter o tamanho do lúmen constante durante e inchamento e contração (SIAU, 1995).

A camada S2 apresenta fibrilas com disposição de ângulos variando de 10 a 30° e diminuindo com o aumento do comprimento da célula. A variação do ângulo formado pelas fibrilas de celulose em relação ao eixo axial das células é o resultado de um número de influências internas e externas, as quais são difíceis de identificar. Porém, de maneira geral as variações existem dentro de um anel de crescimento onde o ângulo decresce continuamente da medula para a casca, até um estado em que permanece constante, ou apenas sujeito a mudanças (KLOCK, 2000).

Como a umidade é retirada dos espaços entre as microfibrilas e finalmente da matriz celulósica, a contração anisotrópica aumenta progressivamente. O ângulo fibrilar por sua vez, é negativamente relacionado tanto com o tamanho quanto com a espessura da parede do traqueídeo (PUEHRINGER, 2002).

Lenho de reação

O crescimento das árvores, sob um padrão normal, produz fustes retos e verticais, contudo, quando estes são forçados fora deste padrão, por meio de inclinações ou curvaturas ocasionadas pelo vento ou forças gravitacionais, formam-se tecidos lenhosos anormais em determinadas regiões da árvore, sendo denominados como madeira de reação (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968).

Na madeira de coníferas esse tipo de lenho de reação é denominado de lenho de compressão, por formar-se na parte inferior de um fuste inclinado ou curvado. Nas folhosas, entretanto, os tecidos de reação ocorrem na região superior de uma inclinação ou curvatura no tronco e, na região superior dos galhos, sendo chamada madeira de tração (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968).

Árvores com grandes volumes de nós tem também grande quantidade de madeira de compressão (coníferas). O volume ocupado pelo núcleo nodoso e pela madeira de compressão aumenta substancialmente acima no tronco, contribuindo para o menor valor das toras mais altas (LARSON *et. al.*, 2001; PUEHRINGER, 2002).

Defeitos – nós, rachaduras e grã

A inclinação da grã é a medida do desvio dos tecidos componentes da madeira em relação ao eixo longitudinal da peça. Se uma peça contendo tecidos axiais em um determinado ângulo do eixo longitudinal é sujeita aos esforços de tração ou compressão, o efeito dos componentes de força acompanha a direção da grã e a madeira se torna mais fraca nesta direção do que ao longo do eixo longitudinal da peça. A inclinação excessiva da grã é também indesejável, porque torna a madeira mais frágil e aumenta sua tendência para o empenamento com a variação no teor de umidade (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968).

A grã espiralada é uma ocorrência comum em coníferas e usualmente segue uma espiral à esquerda, isto é, inclinada à esquerda em relação ao eixo axial da árvore. É uma característica herdada variando consideravelmente entre as árvores e entre as espécies. Entretanto, em todas as espécies, algumas árvores apresentam propensão à formação da grã espiralada nos anéis de crescimento próximos à medula, sendo que, a tendência desaparece nos anéis mais velhos, podendo persistir nas árvores de crescimento extremamente rápido (LARSON et al., 2001). No gênero *Pinus*, isto é comum, aparecendo em muitas espécies, porém, em algumas espécies como *P. taeda*, tem pouca importância (BAMBER & BURLEY, 1983; CASTELO, 2007).

Os nós da madeira também contribuem para a minimização do valor da mesma. Nós de grande diâmetro são áreas de menor resistência na madeira que já está classificada como de menor qualidade, ainda mais se a árvore for de rápido crescimento (LARSON et al., 2001).

Extrativos

São essencialmente ácidos da resina e terebentina. Normalmente saturam os anéis de crescimento próximos à medula em diferentes quantidades. Quando presentes em grandes quantidades nos produtos de madeira sólida eles podem criar

problemas na pintura, acabamento e na impregnação de preservantes. Contudo exercem pouca ou nenhuma influência na resistência ou nas propriedades físicas da madeira, afetando significativamente apenas valores de densidade (LARSON *et al.* 2001).

A variabilidade resultante de diferenças em extrativos ou depósitos químicos influencia a densidade e causa grandes diferenças quanto ao uso eficaz da madeira (VITAL *et al.*, 1987). Dependendo da quantidade e qualidade desses depósitos, o processamento para papel, ou mesmo para outros fins como madeira sólida, pode ser prejudicado em virtude da grande variação de árvore para árvore (ZOBEL & BUIJTENEN, 1989).

2.4.2 Fatores inerentes ao meio

Espaçamento

A escolha do espaçamento tem como principal objetivo proporcionar para cada árvore o espaço suficiente para se obter o crescimento máximo com melhor qualidade e menor custo. Durante a fase inicial de crescimento, a demanda de uma planta é, principalmente, por umidade e calor. Se estes elementos estão presentes em quantidade adequada, qualquer sítio é capaz de suportar o crescimento inicial de um povoamento, mesmo com alta densidade. Entretanto, após alguns anos de crescimento, há um aumento na demanda e as árvores entram em competição por água, nutrientes, luz e pelo espaço para crescimento da copa e do sistema radicial (CHIES, 2005).

O espaçamento de plantio influencia a formação de ramos e o crescimento das árvores (VITAL & DELLA LUCIA, 1987; MATOS, 2003). A diferença de densidade inicial interfere não apenas no desenvolvimento de copa e nas taxas de crescimento como na competição por água e nutrientes, temperatura do solo, umidade, penetração de energia solar e iluminação da copa. O número de indivíduos por unidade de área interfere também na forma da copa das árvores e na qualidade

do produto final, e a maior densidade inicial favorece a produção de ramos mais finos e menores (ZOBEL & BUIJTENEN, 1989).

Nogueira et al. (2008) estudando a influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *P. taeda* L. constatou que espaçamentos iniciais maiores resultam em maior conicidade do fuste das árvores, sob regime de alto fuste sem aplicação de desbaste, em relação a espaçamentos menores.

Chies (2005) estudando a influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *P. taeda* L. encontrou uma tendência decrescente de crescimento da massa específica com o aumento do espaçamento, contudo não foram detectadas diferenças significativas entre as médias dos espaçamentos pelo teste de Tukey Na figura 2 é apresentado o gráfico de tendência da massa específica básica em relação aos tratamentos avaliados pelo autor.

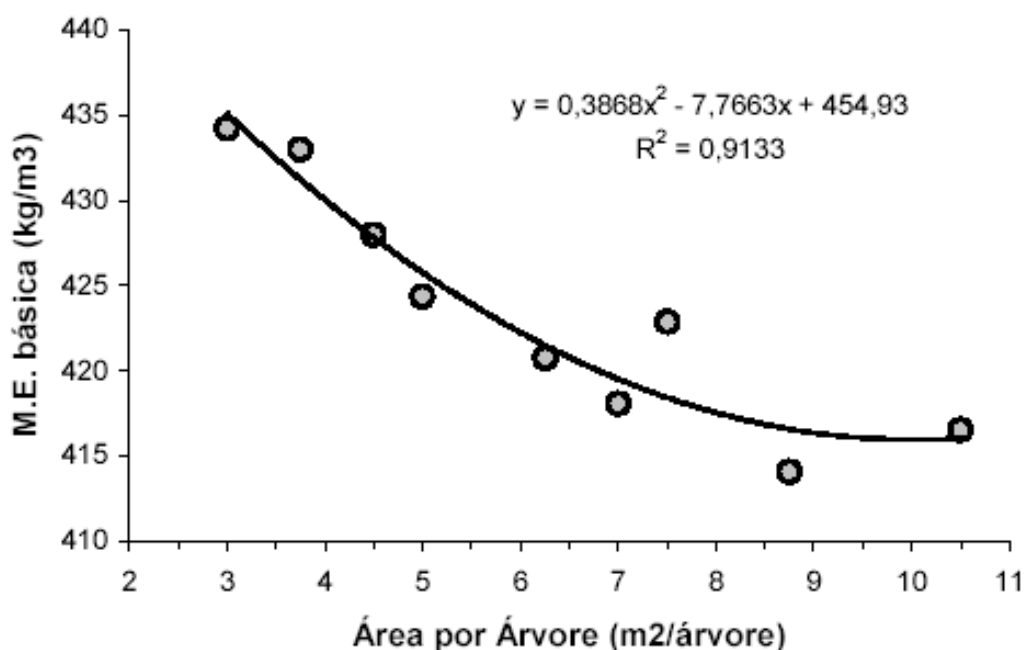


FIGURA 1. TENDÊNCIA DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PONDERADA NOS ESPAÇAMENTOS

FONTE: CHIES (2005)

Sítio de crescimento

Sítio, em termos florestais, pode ser definido como uma área de terras com a combinação dos atributos do solo, topografia, climas e fatores bióticos. Já a qualidade de sítio, pode ser definida como a capacidade produtiva de uma área de terras para uma espécie ou várias espécies. Pode ser expressa em termos de altura total de árvores dominantes a uma idade índice, quando a qualidade de sítio é expressa em termos de altura em uma idade, isto é chamado de índice de sítio (COILE, 1952; CASTELO, 2007).

O sítio varia grandemente na área de ocorrência de uma espécie, mas em todos os casos, a qualidade da madeira pode ser relacionada com a resposta ao crescimento. Bons sítios de crescimento, ricos em nutrientes e com umidade adequada, produzirão madeiras com características de rápido crescimento, enquanto que sítios pobres ou deficientes em umidade produzirão árvores características de crescimento lento (LARSON *et al.* 2001).

Rigatto (2002) em seu estudo sobre a influência dos atributos do solo sobre a produtividade da qualidade da madeira de *P. taeda* chegou à conclusão que madeiras provenientes de sítios com ritmo de crescimento elevado, sítios com texturas mais argilosas, apresentaram menores valores de massa específica básica.

Localização geográfica

Muitos autores estudaram a variação das características anatômicas e sua influência na qualidade da madeira.

A madeira juvenil é afetada aparentemente em um menor grau que a madeira adulta em se tratando da localização geográfica do sítio de plantio. Alguns autores concluíram que a gama de valores de densidade para a madeira juvenil de loblolly pine é menor que a de madeira adulta, e que as tendências devido a localização geográfica não foram evidentes (LARSON, 2001 *et al.*; CASTELO, 2007; PUEHRINGER, 2002.)

Harris (1977), por exemplo, mostrou que a massa específica em *P. radiata* está relacionada com a altitude e, Cown (1974) encontrou uma variação de 30% na massa específica em *P. radiata*, devido a efeitos de latitude na Nova Zelândia.

Bath & Priya (2004) estudando a influência da variação sobre as propriedades da madeira de teak (*Tectona grandis* L. f.) de três regiões distintas de Oeste da Índia encontraram diferenças significativas para as propriedades de MOE e MOR avaliadas no estudo.

Manejo e práticas silviculturais – desbaste e poda

Qualquer modificação nos padrões de crescimento de uma árvore pode alterar a qualidade da madeira. Uma das principais causas observada é proporcionada pelas variações de manejo e de tratamentos silviculturais. No entanto, a dificuldade em relacionar os tratamentos silviculturais e as propriedades da madeira está na determinação da relação entre causa e efeito. Mesmo que ocorram mudanças na qualidade da madeira associada a algum tratamento silvicultural, a questão será determinar se a mudança é resultante da diferença no padrão de crescimento ou tratamento aplicado, devendo cada situação ser analisada criteriosamente (MATOS, 2003).

Segundo Villela Filho (1994), os regimes de manejo têm evoluído historicamente de acordo com o nível de conhecimento sobre as florestas de *Pinus*. O melhoramento genético, a interação genótipo-ambiente, o conhecimento das necessidades dos clientes e a certeza de que as margens para erro se estreitaram, resultam em um índice de seleção crescente, através dos desbastes. Em contrapartida, indivíduos mais uniformes requerem menor seleção, possibilitando implantações com densidades mais baixas e proporcionando indivíduos superiores volumetricamente. Se, por um lado, tende-se a uma pequena diminuição por unidade de área, por outro, propicia-se maior diversidade de produtos de maior valor agregado, aumentando-se a rentabilidade do negócio (CHIES, 2005).

O manejo florestal está centrado na utilização sensata e sustentada dos recursos florestais, de modo que as gerações futuras possam usufruir dos mesmos

benefícios da geração presente. Esse conceito se fundamenta em duas premissas: uma que se baseia na visão do manejo florestal como uma prática em que o objetivo maior é aumentar a qualidade do produto final, sua dimensão e, se possível, a sua quantidade, observando em todas as fases a viabilidade sócio econômica e ambiental do processo produtivo. A outra se baseia na consideração do manejo florestal como um processo de tomada de decisão onde o profissional florestal necessita ter uma visão global de planejamento florestal, utilizando-se, para tal, de modelos matemáticos que possibilitem a previsão da produção, assim como gerenciar toda esta gama de informações através de planos de manejos em que a otimização seja a tônica do processo (SCOLFORO, 1997).

Para Clark III & Saucier (1989), recurso do manejo pode minimizar o diâmetro do lenho juvenil, onde em plantios fechados se realiza os desbastes, somente após a ocorrência da produção de lenho adulto, à um nível de 1 ou 1,5 no ápice da tora. O manejo da floresta também pode reduzir a proporção de lenho juvenil, através do prolongamento da rotação da idade de colheita. Segundo Kellison (1981), uma maior oportunidade para melhorar as propriedades da madeira, é começar por um programa de melhoramento e a aplicação de uma prática silvicultural adequada. (citados por LATORRACA *et al.* 2001)

Em plantios de árvores, se a herdabilidade é alta, um aumento da qualidade da madeira pode ser alcançado pela seleção das melhores; caso contrário um tratamento silvicultural pode ser suficiente. Na prática, a combinação de seleção e tratamentos silviculturais deve alcançar o rendimento máximo (DONALDSON & BURDON, 1995)

Desbaste

O objetivo principal do desbaste em qualquer idade é aumentar a taxa de crescimento promovendo o desenvolvimento da copa. Para maximizar a qualidade da madeira nos plantios jovens, um balanço ótimo deve ser buscado entre as taxas de crescimento do tronco e de desenvolvimento da copa, de modo a promover a competição e a desrama natural. O efeito do desbaste na qualidade da madeira é

variável. Dependendo do estoque inicial, da idade das árvores, sítio e muitas outras condições de crescimento (PUEHRINGER, 2002; CASTELO, 2007).

Assim, desbastes pesados ou freqüentes nos plantios jovens promovem o crescimento dos galhos baixos, atrasam a desrama natural, provocam o estreitamento das toras, aumentam a proporção de lenho inicial no anel de crescimento, aumentam a tendência de formação de madeira de reação, assim como, outras características das madeiras de rápido crescimento. Desbastes leves ou tardios em plantios de alta densidade inicial produzirão respostas quanto à qualidade da madeira. Do ponto de vista da qualidade da madeira, algumas respostas serão benéficas, porém, a custo do crescimento volumétrico individual das árvores do plantio (LARSON et al., 2001).

Poda

O objetivo da poda dos galhos verdes é reduzir a copa da árvore em pleno crescimento simulando uma condição de crescimento mais lento. A poda severa em que muitos galhos são removidos ao mesmo tempo causa reajustes pronunciados no crescimento da árvore. Devido a pequena copa residual, o crescimento em altura da árvore é temporariamente diminuído. Principalmente por que os galhos baixos da nova copa iniciam seu crescimento e aumentam o seu vigor. O crescimento radial na base da tora da árvore severamente podada é reduzido, e a altura em que o anel de crescimento ocorre na árvore passa a ser a nova base da copa.

É aceitável que a poda, especialmente em plantações de espécies exóticas, irá aumentar a qualidade da madeira, pela redução da presença de nós (LATORRACA, 2000).

2.5 Propriedades físicas e mecânicas da madeira x qualidade da madeira

As propriedades físicas são utilizadas para verificar a estabilidade dimensional da madeira, sendo a massa específica básica uma das mais importantes na definição da qualidade da madeira por estar associada às características químicas, físicas e anatômicas da madeira.

As propriedades mecânicas referem-se às características de resistência e elasticidade da madeira e podem ser definidas como a expressão do seu comportamento sob a influência de uma força aplicada. Este comportamento é modificado de várias maneiras, dependendo do tipo de força exercida na madeira e das diferenças básicas na sua organização. Desta forma, como a madeira é altamente anisotrópica, qualquer propriedade deve se referir a uma direção particular com respeito à sua estrutura (PANSHIN & ZEEUW, 1980).

A qualidade da madeira pode ser definida em termos de utilizações final envolvendo vários componentes que podem ser estudados em níveis anatômicos (por exemplo: morfologia da fibra, celulose, ângulo microfibrilar), químicos (por exemplo: a composição da parede celular), e físicos (por exemplo: densidade).

MORA *et al.* (1982) define qualidade da madeira como um conjunto de características inerentes à madeira que indicam sua adequação para um determinado uso ou conjunto de usos e a sua capacidade para preencher os requisitos necessários à fabricação de um determinado produto.

Atualmente no Brasil, devido á necessidade de se obter usos mais adequados para as espécies de rápido crescimento, há intensificação no estudo da qualidade da madeira dando ênfase a pesquisa sobre massa específica, orientação da grã, comprimento de fibras, resistência mecânica e características tecnológicas destas espécies em relação a produtos e processos, para a correta utilização das mesmas (CASTELO, 2007).

2.5.1 Contração e inchamento

Um material que tem diferentes propriedades físicas nas diferentes direções dos eixos estruturais é dito ser anisotrópico. A parede celular apresenta anisotropia definitiva devido à organização estrutural dos materiais que a compõem (PANSHIN & ZEEUW, 1970).

Assim a madeira por ser um material higroscópico e anisotrópico tenderá a entrar em equilíbrio com o meio a que estiver exposta e apresentará diferentes taxas de contração e inchamento ao ganhar ou perder umidade. Desta forma, os conceitos podem ser aplicados tanto para o inchamento como para a contração.

A contração longitudinal é a diminuição do volume de uma peça de madeira, ao perder umidade, abaixo do ponto de saturação das fibras até o estado seco. Está mais freqüentemente associada a madeira juvenil. E a contração da madeira juvenil está grandemente relacionada com a densidade. Quanto menor a densidade maior a contração longitudinal da madeira e quanto maior a densidade, maior a contração radial, tangencial e longitudinal (PUEHRINGER, 2002).

Não há uma propriedade facilmente mensurável relacionada à contração longitudinal, e da mesma forma, não há características de crescimento para identificar madeiras propensas a empenar. Apesar disso posto, evidências sugerem que a contração está mais relacionada com ângulo fibrilar (PUEHRINGER, 2002).

A retratibilidade da madeira normalmente denominada assim pelos autores para expressar a determinação do conjunto de coeficientes de contração máxima volumétrica e lineares para os sentidos tangencial, radial e longitudinal, anisotropia de contração e coeficientes de retratibilidade volumétrico, tangencial e radial da madeira, é comumente utilizada como índice de qualidade da madeira. Essa característica está normalmente associada à empenamentos e rachaduras nas peças serradas em algumas espécies, à resposta de uma determinada espécie a secagem (ou a redução do teor de umidade) da madeira para posterior beneficiamento desta e ainda para o comportamento em termos de estabilidade em relação ao ambiente e/ou condições de aplicação desta espécie no seu uso final.

Rodrigues *et al.* (2008) em estudos de seleção de clones de *Eucalyptus* para as propriedades físicas e mecânicas da madeira encontraram percentuais de herdabilidade genética para os índices de contração dessa espécie acima de 90%.

O que indica, segundo o autor, boas perspectivas para a obtenção de ganhos nas referidas propriedades, e melhorando a estabilidade da madeira.

Portanto, a inclusão desses índices na avaliação da qualidade da madeira de *P. taeda* pode ser de extrema importância no ganho em estabilidade dimensional. Tendo em vista que comparada a espécie de eucalipto, a madeira de *P. taeda* apresenta menores problemas de estabilidade dimensional, assim qualquer ganho, por mínimo que seja nessa propriedade resultará em maior qualidade no uso dessa madeira.

2.5.2 *Módulo de elasticidade da madeira (MOE)*

Um corpo sólido sujeito a uma determinada carga sofre uma deformação. Quando a carga é removida, esse corpo terá a tendência de retornar à forma e posição originais. Essa tendência é denominada elasticidade (PARKER, 1963). Desta forma, a elasticidade é a propriedade que tem os materiais de armazenar, na forma de energia potencial interna, o trabalho mecânico de deformação provocado por uma solicitação externa, devolvendo esta energia total ou parcialmente quando desaparece a causa da deformação.

A propriedade elástica é característica dos corpos sólidos abaixo de um limite de esforços. Acima desse limite ocorrerão deformações plásticas, até a ruptura. Um corpo sólido é chamado elástico quando a deformação produzida devido à aplicação de carga abaixo do limite proporcional é completamente anulada após o relaxamento desta carga. Além do limite proporcional as deformações plásticas sofridas pelo material são irreversíveis (KOLLMANN, 1950).

O limite proporcional de um material é determinado na prática mediante ensaio do material, por meio do diagrama de carga-deformação. No ponto em que começa deixar a fase linear e a curvar-se é chamado limite proporcional (WANGAARD, 1950).

O conceito de elasticidade é expressa pela Lei de *Hooke*:

$$\varepsilon = \alpha_D \cdot \sigma$$

LEI DE HOOKE (1)

Onde:

ε = alongação / comprimento original = $\Delta L/L$

α_D = coeficiente de deformação = ε / σ

σ = tensão = P/A (Pa)

Como a deformação específica é obtida por meio da equação 2:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{P}{A} = \frac{\sigma}{E} \quad \text{DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA (2)}$$

Onde:

ε = deformação específica

ΔL = alongação (cm)

L = comprimento inicial

P = carga (kgf)

A = área da seção transversal (cm²)

σ = tensão (Pa)

$1/E$ = coeficiente de proporcionalidade

E = Módulo de elasticidade ou de *Young* (Pa)

O módulo de elasticidade ou de *Young* como também é chamado o expressa esforço hipotético no qual um corpo de 1 cm² de área transversal pode ser estendido até o dobro de seu comprimento original. Na prática o valor E é impossível de ser atingido, pois ocorre antes da ruptura do material (PARKER, 1963).

Para a madeira o MOE pode ser extraído por meio dos ensaios de flexão estática ou dinâmica, de compressão e de tração e dos sentidos de aplicação de força paralela e/ou perpendicular em relação à grã da madeira. Contudo em um ensaio de compressão os valores resultantes são considerados mais “puros”, pois se utiliza apenas um ponto de aplicação de força enquanto que no ensaio de flexão estática são normalmente realizados carregamento em dois pontos.

As considerações características já conhecidas sobre o MOE são: quanto maior o valor do MOE, menor será a deformação do material e maior sua resistência; e quanto menor o MOE, menor será a qualidade do material para fins estruturais.

As normas mais utilizadas atualmente pelos laboratórios de ensaios para determinação da resistência mecânica da madeira são: COPANT, ASTM, NBR 7190.

A definição de qual tipo de ensaio a ser realizado dependerá dos fins de utilização dos resultados extraídos e dos equipamentos disponíveis.

2.5.3 *Módulo de ruptura da madeira (MOR)*

A resistência de um material é definida como o esforço máximo que ocorre antes ou no momento da ruptura. Alguns materiais possuem reservas consideráveis de resistência entre o limite elástico e a resistência máxima, no entanto essa faixa de resistência chamada inelástica não é considerada, por exemplo, na aplicação da teoria de resistência para vigas estruturais de madeira, por ser esta faixa muito variável com relação a outros materiais de construção como o aço. Testes em corpos de provas da mesma espécie podem resultar em considerável variação de valores de resistência (PARKER, 1963).

O módulo de ruptura reflete a capacidade de transporte da carga de um membro em flexão ou compressão e é proporcional ao momento máximo suportado pelo modelo. É o aceite de um critério de resistência, embora não seja um verdadeiro estresse porque a fórmula pela qual é computada é válida apenas para o limite elástico (WOOD HANDBOOK, 1999).

A resistência da madeira expressa numericamente através do MOR pode ser obtida em testes de flexão estática ou compressão (WANGAARD, 1950). Na prática esse valor é extraído do mesmo corpo de prova ensaiado para compressão ou flexão.

2.5.4 *Tensão de Cisalhamento*

A tensão de cisalhamento reflete a máxima tensão sustentada pela madeira na direção paralela ou perpendicular a grã (HANDBOOK, 1999).

O cisalhamento na madeira pode ocorrer sob três formas. A primeira seria quando a ação é perpendicular às fibras, porém este tipo de sollicitação não é crítico,

pois, antes de romper por cisalhamento, a peça apresentará problemas de esmagamento por compressão normal. As outras duas formas de cisalhamento ocorrem com a força aplicada no sentido longitudinal às fibras (cisalhamento horizontal) e à força aplicada perpendicular às linhas dos anéis de crescimento (cisalhamento rolling). O caso mais crítico é o cisalhamento horizontal que rompe por escorregamento entre as células da madeira. Normalmente não é considerada, pois outras falhas ocorrem antes (SZÜCS *et al.*, 2006).

É de grande importância em peças com cavilhas, roletes, vigas de treliças, polias, postes, etc. O valor das tensões de cisalhamento depende principalmente dos sentidos de crescimento da madeira. No plano tangencial há uma grande influência do crescimento, ou da diferença entre os lenhos inicial e tardio. No plano radial há grande influência ao cisalhamento (KOLLMANN & CÔTÈ, 1968).

Vale salientar que as determinações desses indicadores de qualidade (MOE, MOR, tensão de cisalhamento) devem ser realizadas segundo um teor de umidade específico da madeira. Como normalmente são utilizadas normas na determinação desses valores, as mesmas para fins de comparação e classificação, já estabelecem os valores de teor de umidade em que os corpos de prova serão ensaiados.

2.6 Análise estatística

A técnica de análise multivariada é uma ferramenta amplamente empregada nas análises estruturais de florestas, principalmente para estudos fitossociológicos. Entretanto alguns pesquisadores vêm aplicando essas técnicas para a seleção de árvores com base em suas propriedades físico-mecânicas (LOPES *et al.*, 2004).

São várias as técnicas de análises multivariadas utilizada pela pesquisa científica e tem destaque entre elas: as análises fatoriais, de agrupamento, componentes principais, correlações canônicas e análise discriminante (SHIMOYAMA, 2005).

As técnicas de análises multivariadas são estatisticamente mais complexas. E muitas vezes necessitam de softwares específicos para seu desenvolvimento ou mesmo uma programação computacional (LAVORANTI, 2003).

Segundo Johnson (1998) a análise multivariada apresenta três principais objetivos: eliminar ruídos presentes nos dados, ou seja, a exclusão de variações devidas a erros não controlados, sumarizar os dados e revelar a estrutura dos mesmos.

2.6.1 *Análise de correlação entre variáveis*

A correlação de Pearson é um dos testes estatísticos paramétricos mais utilizados. É utilizado para analisar a relação entre duas variáveis medidas em um nível por intervalos ou de razão. O teste em si não considera uma variável independente e outra como dependente, já que não avalia as causas. A noção de causa-efeito (independente-dependente) é possível ser teoricamente estabelecida, mas não considera essa causa (SAMPIERI *et al.*, 2006).

O coeficiente de correlação de Pearson é calculado das pontuações obtidas em uma amostra em duas variáveis. Relacionam-se as pontuações obtidas de uma variável com as pontuações obtidas de outra variável, nos mesmos indivíduos. Pode variar de -1,00 a + 1,00 (para maior X, menor Y, de forma proporcional, isto é, cada vez que X aumenta uma unidade, Y diminui sempre uma quantidade constante). Isso também se aplica a menor X, maior Y (SAMPIERI *et al.*, 2006).

Assim tem-se:

- 1,00 = correlação negativa perfeita
- 0,90 = correlação negativa muito forte
- 0,75 = correlação negativa considerável
- 0,50 = correlação negativa média
- 0,10 = correlação negativa fraca
- 0,00 = não há correlação
- +0,10 = correlação positiva fraca
- +0,50 = correlação positiva média
- +0,75 = correlação positiva considerável
- +0,90 = correlação positiva muito forte
- +1,00 = correlação positiva perfeita

Os principais programas de análise estatística computacionais expressam se o coeficiente é significativo ou não. Para um coeficiente é menor que 0,05, se diz que é *significativo* ao nível de 0,05 (95% de confiança de que a correlação seja verdadeira e 5% de probabilidade de erro). Se o coeficiente é menor que 0,01, o coeficiente é *significativo* no nível de 0,01 (99% de confiança de que a correlação seja verdadeira e 1% de probabilidade de erro) (SAMPIERI *et al.*, 2006).

Quando o coeficiente de Pearson é elevado ao quadrado (r^2), o resultado indica a variância de fatores comuns, ou seja, a porcentagem da variação de uma variável devido a variação da outra e vice-versa (SAMPIERI *et al.*, 2006).

A equação 3 apresenta a fórmula de cálculo da correlação de Pearson.

$$r_{a(x,y)} = \frac{COV_{a(x,y)}}{\sigma_{ax} \sigma_{ay}} \quad \text{CORRELAÇÃO DE PEARSON (3)}$$

sendo:

$r_{a(x,y)}$: correlação entre os caracteres x e y;

$COV_{a(x,y)}$: covariância entre os caracteres x e y;

σ_{ax} : desvio padrão para o caráter x;

σ_{ay} : desvio padrão para o caráter y.

2.6.2 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais é um método estatístico multivariado que permite transformar um conjunto de variáveis iniciais correlacionadas entre si, num conjunto de variáveis não correlacionadas, que resultam em combinações lineares ortogonais do conjunto inicial (SILVA & PADOVANI, 2006). Estas componentes explicam uma parcela substancial das informações do conjunto

original, tornando-se um sistema mais simples para análise, podendo-se identificar relações que em geral não seriam possíveis com as coordenadas originais das variáveis. Assim a partir de um conjunto de dados com n variáveis, são obtidos n componentes principais (SHIMOYAMA, 2005).

Segundo Barroso e Artes (2003), são três os principais objetivos da análise de componentes sendo: a redução da dimensionalidade dos dados, a obtenção de combinações interpretáveis das variáveis e a descrição e entendimento da estrutura de correlação das variáveis.

Algebricamente as componentes principais são combinações lineares das variáveis originais. Geometricamente são as coordenadas dos pontos amostrais em um sistema de eixos originais, na direção da variabilidade máxima dos dados. A análise depende somente da matriz de covariância ou da matriz de correlação das variáveis e não requer qualquer posição sobre a forma de distribuição multivariada das mesmas (JONHSON & WIRCHEN, 1992).

A importância de cada componente principal é estabelecida em função da variância contida em cada uma delas, onde reside a sua capacidade de explicação da estrutura variância/covariância. Assim para que possa estabelecer este ordenamento, ou ranquear as componentes é preciso analisar quanto cada uma delas explica a variação total do conjunto de dados (SHIMOYAMA, 2005).

Na literatura existem vários critérios que auxiliam na tomada de decisão com relação ao número de componentes principais a ser retida ou considerada na análise (BARROSO & ARTES, 2003; SILVA & PADOVANI, 2006; SHIMOYAMA, 2005). Dentre estes se destacam:

- Critério de Kaiser, que sugere manter na análise as componentes principais correspondentes aos autovalores maiores que a média dos autovalores, se a análise é baseada na matriz de covariância ou as componentes principais correspondentes aos autovalores maiores que 1, se for usada a matriz de correlação (SILVA & PADOVANI, 2006, SHIMOYAMA, 2005);

- Reter o número de componentes principais que acumulem pelo menos certa porcentagem da variabilidade total dos dados (de preferência cima de 70%) (ARTES, 1998; SILVA & PADOVANI, 2006, SHIMOYAMA, 2005);

- Reter as componentes principais que acumulem pelo menos uma certa porcentagem da variabilidade de cada uma das variáveis originais (de preferência acima de 50%) (SHIMOYAMA, 2005).

Segundo os autores supracitados o gráfico *Screen Plot*, que representa os autovalores, pode auxiliar na escolha do número de componentes a reter. Normalmente, a diferença entre os primeiros autovalores é grande e diminui em direção aos últimos. Assim pode ser efetuado o corte quando a variação passa a ser pequena (SILVA & PADOVANI, 2006; SHIMOYAMA, 2005).

A interpretação das componentes principais é feita com base nas correlações entre as variáveis originais e as componentes obtidas e nos coeficientes dados pelas combinações lineares que levam as componentes principais. As correlações são medidas das contribuições individuais de cada variável e não consideram a contribuição multivariada das demais variáveis, e os coeficientes são medidas das contribuições multivariadas (JONHSON & WIRCHEN, 1992)

Em geral somente são utilizadas as primeiras componentes, pois explicam grande parte da variância total, ou seja, a primeira componente principal detém maior informação estatística que a segunda que por sua vez tem mais informação que a terceira e assim por diante (HAIR *et al.*, 2005). Assim, a magnitude das demais determina se as primeiras se ajustam bem as observações. Quanto menor for a parte desprezada, melhor é o ajuste (SHIMOYAMA, 2005).

2.6.3 *Análise de cluster (agrupamento)*

A análise de agrupamento é distinta dos métodos de classificação. *Classificar* é concernente com um número de grupos conhecidos e o objetivo operacional é fixar uma nova observação em um destes grupos. *Agrupar* é uma técnica mais primitiva no sentido de que nenhuma suposição é feita quanto o número de grupos ou estrutura de agrupamento. O agrupamento é feito na base de similaridade ou distâncias (dissimilaridades) e acontece por meio de algoritmos computacionais que tem a função de procurar os indivíduos mais próximos no conjunto de suas características (JONHSON & WIRCHEN, 1992; ROMESBURG, 2004).

Quando as observações são agrupadas, a proximidade é tipicamente medida pela distância entre as observações no p-dimensional espaço das variáveis.

O procedimento de análise de cluster fornece três diferentes equações para medir a distância entre dois pontos, representados por x e y seguintes (STATGRAPHICS CENTURION, 2009):

$$d(x, y) = \sum_{i=1}^p (x_i - y_i)^2 \quad \text{DISTÂNCIA EUCLIDIANA AO QUADRADO(4)}$$

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_i - y_i)^2} \quad \text{DISTÂNCIA EUCLIDIANA (5)}$$

$$d(x, y) = \sum_{i=1}^p |x_i - y_i| \quad \text{DISTÂNCIA CITY BLOCK (6)}$$

Quanto às variáveis de agrupamento, a distância é definida de forma semelhante, exceto que x e y representam o local de duas variáveis no espaço n-dimensional das observações, e a soma é superior ao invés de observações sobre as variáveis. Os tipos básicos de métodos fornecidos para o agrupamento são o método hierárquico e o K-means (método não-hierárquico) (STATGRAPHICS CENTURION, 2009).

Métodos aglomerativos

Os métodos hierárquicos aglomerativos são formados através de uma matriz de similaridade, onde se procuram os dois objetos mais semelhantes, a partir daí o par de objetos é agrupado formando um único indivíduo. Uma nova matriz de similaridade é formada onde se identifica novamente o par mais semelhante para

formar um novo grupo. O procedimento se repete até que todos os objetos fiquem em um só grupo (MARTINS, 2008).

Bussab *et al.* (1990), orientam que nas medidas de similaridade pode-se observar que quanto maior o valor observado mais parecidos são os objetos e nas medidas de dissimilaridades quanto maior o valor observado menos parecidos serão os objetos. Assim, tem-se o coeficiente de correlação como um exemplo de similaridade, enquanto que a distância euclidiana é um exemplo de dissimilaridade.

Há vários métodos hierárquicos e estes diferem na forma como se define a distância entre dois clusters quando um ou ambos os conjuntos contêm mais de um membro. São os seguintes: Vizinho mais próximo (single linkage); Furthest vizinho (ligação completa); Centroid; Mediana; Grupo médio (ligação média) e o Método de Ward (ROMESBURG, 2004; STATGRAFIC CENTURION, 2009).

Método K-Means

Este método de análise é um método de agrupamento não-hierárquico por repartição (HAIR *et al.*, 2005) e divide os dados em grupos, classificando objetos ou indivíduos em grupos homogêneos. (MAROCO, 2003).

Ao aplicar um critério de otimização que divida uma amostra em 'k' grupos homogêneos, pretende-se que, dentro de cada grupo, os elementos sejam os mais semelhantes possíveis entre si, ao passo que as semelhanças entre os elementos de grupos distintos sejam as menores possíveis (GUIDINI, 2008). Assim, o objetivo do K-means é minimizar a distância entre cada ponto e o seu respectivo centróide (HAIR *et al.*, 2005).

Com pequenas variações, talvez seja o mais utilizado em Análise de Agrupamentos quando se tem muitos objetos (BUSSAB *et al.* , 1990). É um algoritmo que segue um processo para classificar uma determinada base de dados em um número de clusters k pré-determinado (NASCIMENTO, 2009). Começa por identificar os itens k como pontos de referência (seeds) para cada cluster. Os itens são combinados com o próximo cluster (JONHSON & WIRCHEN, 1992).

Assim, seja um k dado a priori, seguem-se os seguintes passos para a formação dos clusters: 1) particiona-se os objetos de forma que obtenhamos k grupos não vazios; 2) calculam-se os pontos "semente" (seed), sendo que cada um será o centróide (médias) dos grupos; 3) cada objeto restante é assinalado como pertencente ao cluster ao qual apresenta-se mais próximo do seu centróide de acordo com a função distância; 4) retorna-se ao passo 2 até que não haja mais alterações de assinalação (JONHSON & WIRCHEN, 1992; NASCIMENTO, 2009).

MANOVA (multiple analysis of variance)

A MANOVA é considerada uma extensão da ANOVA. É utilizada quando há mais de uma variável dependente e tem a função de analisar simultaneamente múltiplas medidas de cada indivíduo ou objeto sob investigação (HAIR *et al.*, 1998).

Segundo Hair *et al.* (1998), a técnica multivariada MANOVA é a mais adequada para se comparar grupos em mais de uma variável dependente. A sua principal vantagem é considerar a possibilidade de que um conjunto de variáveis dependentes possa fornecer maiores evidências quanto a verdadeiras diferenças entre os grupos.

Existem quatro testes que podem ser usados para determinar se existem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos na combinação linear das variáveis dependentes: 1) Traço de Pillai; 2) Traço de Hoetelling; 3) Lambda de Wilks; 4) Maior raiz de Roy. O traço de Pillai é o método que apresenta maior robustez, contudo em geral o teste mais utilizado é o Lambda de Wilks (HAIR *et al.*, 1998) sendo o mais fácil de calcular.

O teste Lambda de Wilks examina se os grupos são de algum modo diferente, sem se preocupar com a possibilidade de eles diferirem em pelo menos uma combinação linear das variáveis dependentes. É representado pela seguinte equação (HAIR *et al.*, 2005):

$$|W| / |W + A|$$

LAMBDA DE WILKS(7)

Onde:

$|W|$ = determinante (um único número) da matriz de dispersão multivariada dentro de grupos

$|W + A|$ = determinante da soma de W com A , sendo A a matriz de dispersão multivariada entre grupos.

Quanto maior a dispersão entre grupos, menor o valor de Lambda de Wilks e maior a significância (HAIR *et al.*,2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material genético e área experimental

As diferentes famílias do teste de progênies de *Pinus taeda* L. avaliadas são procedentes do Pomar Clonal de Sementes - PCS da empresa Battistella Florestal, que é de origem do Sul dos Estados Unidos.

A avaliação das propriedades físicas e mecânicas da madeira foi realizada aos 10 anos de idade, a fim de fornecer subsídios nas tomadas de decisão no programa de melhoramento genético desenvolvido na empresa. A madeira de *Pinus taeda* deste estudo por ter idade de 10 anos pode ser considerada como 100% lenho juvenil.

O teste de progênies foi instalado na Fazenda Cerro Azul da empresa Battistella Florestal no município de Rio Negrinho, região Norte de Santa Catarina. A altitude local é de 985 mm, latitude de 26°40'07,24"S e longitude de 49°37'37,38"O, a média pluviométrica anual está entre 1500 a 1800 mm, com umidade relativa média anual de 80 a 85%.

O clima da região segundo Köppen é classificado como Cfw e pertence ao grupo C mesotérmico, com temperatura média do mês mais frio superior a 18°C ou inferior a -3°C, com ocorrência de geadas e com temperatura média mensal não atingindo mais que 22°C. O solo é do tipo cambissolo háplico com base no levantamento e mapeamento de solos existente nas áreas de plantio da empresa.

A Figura 2 mostra a localização da área experimental.

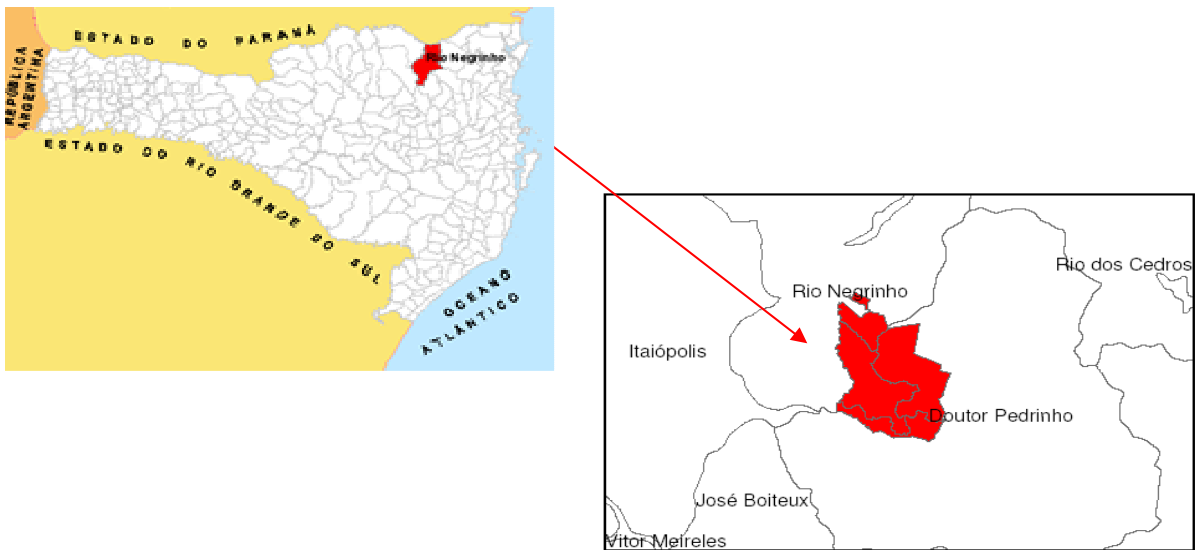


FIGURA 2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

FONTE: O AUTOR (2009)

O teste de progênies foi instalado em uma área onde já havia sido realizada a exploração de um ciclo de produção de *P. taeda*, ainda assim, não houve necessidade de adubação em função das exigências nutricionais da espécie.

Na Figura 3 é apresentado o panorama geral da área experimental.



FIGURA 3. FOTO DA ÁREA EXPERIMENTAL (À ESQUERDA)

FONTE: O AUTOR (2009)

3.2 Delineamento do Teste de Progênes e amostragem do material em campo

O teste de progênes foi instalado em blocos casualizados, com 120 tratamentos, sendo eles as diferentes famílias de meios-irmão, em parcelas lineares de cinco plantas em cinco repetições.

O espaçamento adotado foi de 2,5 m x 2,5m com bordadura dupla, sem a realização de podas, o desbaste foi realizado somente para a retirada da madeira do estudo.

Na Figura 4 é apresentado o teste de progênes de *P. taeda* aos 10 anos de idade.



FIGURA 4. TESTE DE PROGÊNIES DE *P. TAEDA* AOS 10 ANOS DE IDADE - SETA A DIREITA INDICA O SENTIDO DAS LINHAS E SETA A ESQUERDA INDICA O SENTIDO DAS PARCELAS

FONTE: O AUTOR (2009)

Foi realizada a análise genética da variável de crescimento (DAP) no teste de progênies aos 10 anos de idade e classificados de 1 a 5 os indivíduos de cada família em cada repetição pelo respectivo valor genético individual.

As amostras de madeira retiradas para as avaliações das propriedades físicas e mecânicas foram coletadas dos segundos melhores indivíduos de cada parcela (baseado nos valores genéticos do DAP). Sendo analisadas as 120 famílias do teste de progênies, uma planta por parcela em cinco repetições totalizando assim, 600 árvores avaliadas.

Antes da retirada das árvores, estas foram identificadas com plaquetas e foram novamente medidas as circunferências das árvores a altura do peito (CAP) com auxílio de uma fita métrica, a altura total e comercial considerando o diâmetro

comercial de 8 cm, ambas as medidas foram tomadas utilizando uma trena de 30 m. Na Figura 5 é apresentada o esquema de retirada do material de estudo.

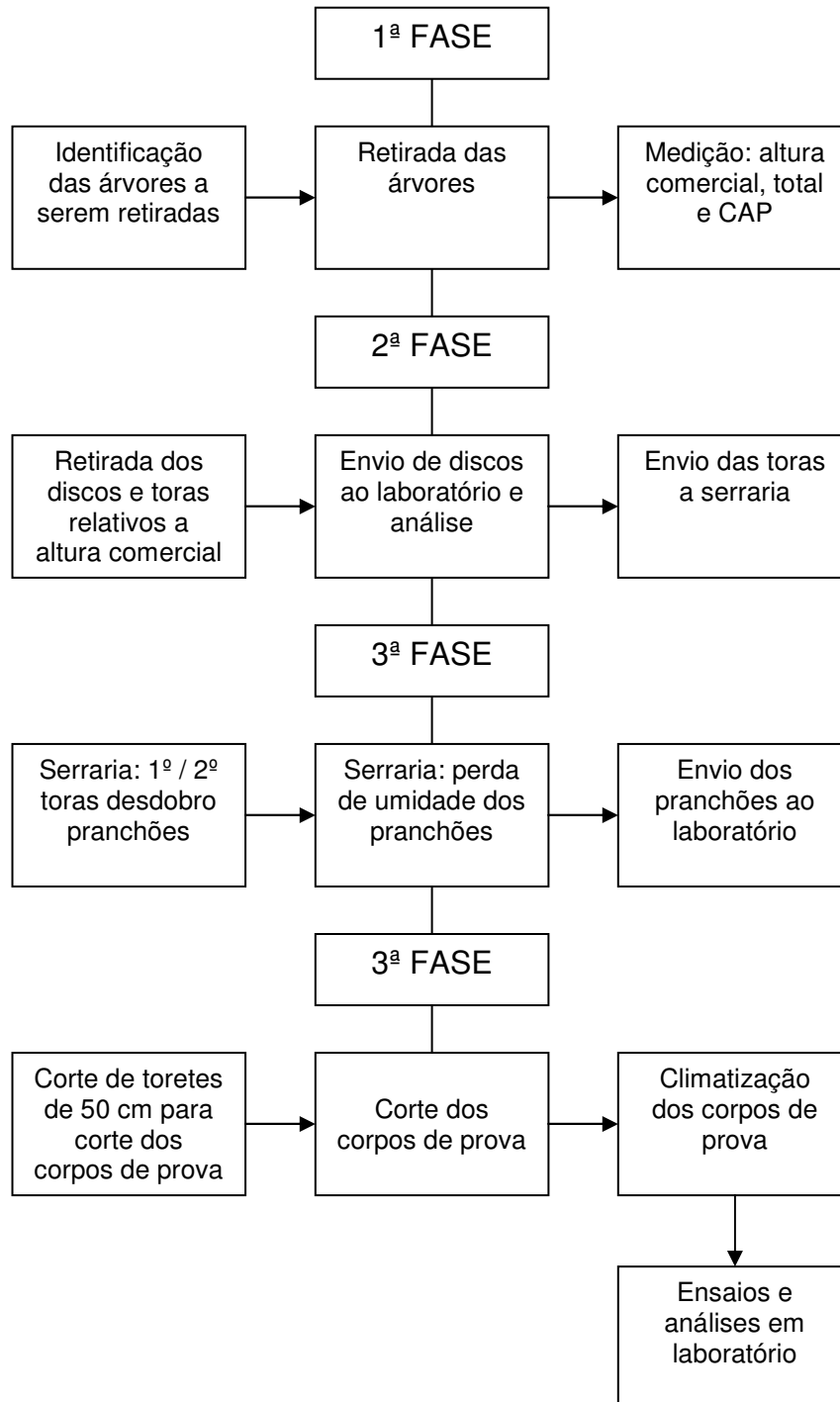


FIGURA 5. ESQUEMA DE RETIRADA DO MATERIAL DE ESTUDO

FONTE: O AUTOR (2009)

Após o corte das árvores estas foram arrastadas para fora do talhão com o auxílio de um trator e em seguida foi realizado o seccionamento dos discos e em seqüência das toras. A Figura 6 mostra a retirada dos discos e toras a campo.



FIGURA 6. RETIRADA DOS DISCOS E TORAS DO CAMPO

FONTE: O autor (2009)

O seccionamento para retirada dos discos e toras foi realizado, ao longo da altura comercial das árvores, conforme mostra o esquema da Figura 7.

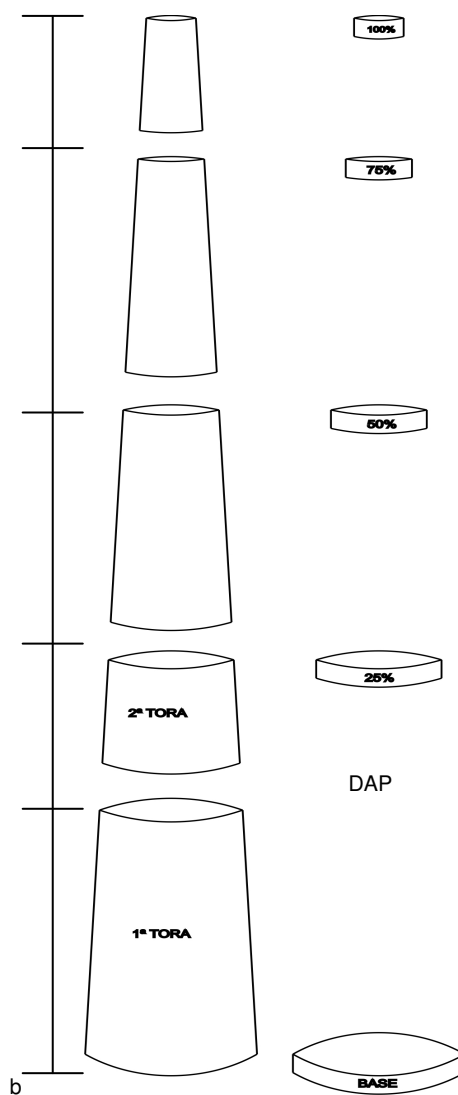


FIGURA 7. ESQUEMA DE RETIRADA DOS DISCOS E TORAS

FONTE: O autor (2009)

3.3 Confeção de corpos de prova e determinação das propriedades físicas e mecânicas

3.3.1 *Massa específica básica*

Na determinação da massa específica básica (MEB) foram utilizados os discos retirados com aproximadamente 5 cm de espessura, conforme as alturas

representadas na Figura 8. Os quais foram imersos em recipiente com água até a saturação. A seguir foi determinada a massa específica básica pelo método de pesagem (gravimétrico), de acordo com a norma COPANT 461:1972.

A determinação dos valores de MEB procedeu-se segundo a equação 8:

$$MEB = M_s / V_{sat}$$

MASSA ESPECIFICA BÁSICA (8)

Onde:

MEB = Massa específica básica (Kg/m³)

M_s = Massa seca em estufa (Kg)

V_{sat} = Volume saturado (m³)

3.3.2 *Retratibilidade*

Das segundas toras, provenientes da retirada dos discos nas posições BASE e 25% da altura comercial, foram retirados os corpos de prova de retratibilidade.

Para a confecção dos corpos de prova foram destopados toretes com aproximadamente 50 cm e posteriormente retirados corpos de prova no sentido medula-casca, paralelo à grã da madeira. Os corpos de prova foram designados da seguinte forma: M1, M2 retirados mais próximos a medula e C1, C2 retirados mais próximos a casca, a fim de que as médias resultantes abrangessem a maior parte possível do raio medula-casca.

O esquema de retirada corpos de prova é apresentado na Figura 9.

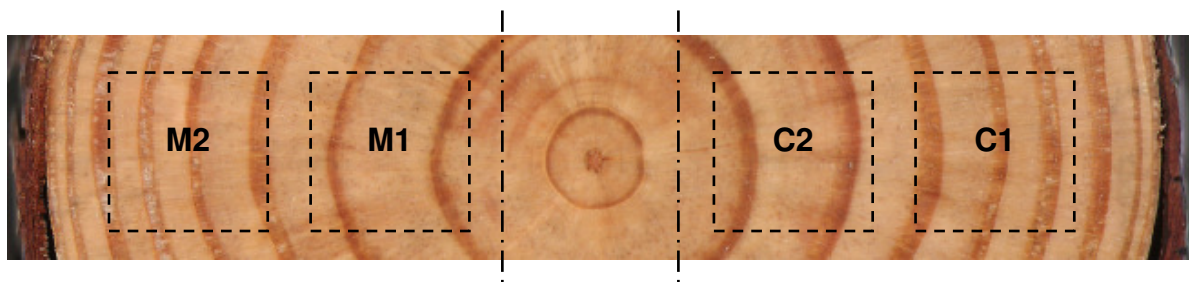


FIGURA 8. ESQUEMA DE RETIRADA DOS CORPOS DE PROVA DE RETRATIBILIDADE DOS TORETES

FONTE: O AUTOR (2009)

As dimensões dos corpos de prova, bem como as análises seguiram os critérios da norma COPANT 462:1972. Assim, foram determinados os coeficientes de contração máxima volumétrica e lineares: tangencial, radial e longitudinal, anisotropia de contração e coeficientes de retratibilidade volumétrico, tangencial e radial. Utilizaram-se as seguintes equações:

$$\beta_{(tang,rad,long)} = [L_u - L_o/L_u] * 100 (\%) \quad \text{CONTRAÇÃO LINEAR MÁXIMA (9)}$$

$$\beta_{vol} = [V_u - V_o/V_u] * 100 (\%) \quad \text{CONTRAÇÃO LINEAR MÁXIMA VOLUMÉTRICA (10)}$$

$$QR = [(L_{clim} - L_o) * P_o] / [(P_{clim} - P_o) * L_o] (\%/%) \quad \text{RETRAÇÃO VOLUMÉTRICA (9)}$$

$$QR_{(tang,rad)} = [(V_{clim} - V_o) * P_o] / [(P_{clim} - P_o) * I_o] (\%/%) \quad \begin{array}{l} \text{RETRAÇÃO} \\ \text{TANGENCIAL/RADIAL (10)} \end{array}$$

$$AC = \beta_{tan} / \beta_{rad} \quad \text{COEFICIENTE DE ANISOTROPIA (11)}$$

Onde:

$\beta_{(tang,rad,long)}$ = coeficiente contração máxima linear (tangencial/radial/ longitudinal)

β_{vol} = coeficiente contração máxima volumétrica

QR = coeficiente de retratibilidade

$QR_{(tang,rad)}$ = coeficiente retratibilidade volumétrico (tangencial/radial)

AC = anisotropia de contração

L_u = dimensão no estado verde (mm)

L_o = dimensão após secagem em estufa a $103\pm 2^\circ\text{C}$ (mm)

L_{clim} = dimensão após condicionamento (mm)

V_u = volume do corpo de prova no estado verde (mm^3)

V_o = volume do corpo de prova seco em estufa a $103\pm 2^\circ\text{C}$ (cm^3)

V_{clim} = volume do corpo de prova após condicionamento (mm^3)

P_o = massa do corpo de prova seca em estufa a $103\pm 2^\circ\text{C}$ (g)

P_{clim} = massa do corpo de prova após climatização (g)

3.3.3 *Massa específica aparente*

Na determinação da massa específica aparente foram utilizados os mesmos corpos de prova da determinação da retratibilidade conforme item 3.3.2.

Os procedimentos para determinação da massa específica aparente foram efetuados conforme norma COPANT 461:1972, sendo tomadas as dimensões com nos seguintes conteúdos de umidade: verde (acima do ponto de saturação das fibras); após acondicionamento dos corpos de prova em câmara climática (condições: UR=65±5% e T=20±2°C) e a 0% de umidade (corpos de prova secos em estufa a 103±2°C). Para os cálculos utilizaram-se a equação 15:

$$ME_{ap} = M_{ap}/V_{ap}$$

MASSA APARENTE (14)

Onde:

ME_{ap} = massa específica aparente (g/cm^3)

M_{ap} = massa do corpo de prova: verde; climatizado; 0% (g)

V_{ap} = volume do corpo de prova: verde; climatizado; 0% (cm^3)

3.3.4 Determinação do Módulo de elasticidade à compressão

A confecção dos corpos de prova seguiu metodologia igual a de retirada dos corpos de prova de retratibilidade (Figura 9) sendo retirados em seqüência destes. Devido aos baixos diâmetros das toras foram utilizados os corpos de prova com dimensões 25x25x100mm.

O ensaio procedeu com a força atuando no sentido paralelo a grã da madeira. E o módulo de elasticidade foi determinado segundo dados extraídos do diagrama carga-deformação registrado pelo software Tesc® da máquina universal de ensaios utilizada e calculado segundo a norma EN789 conforme a seguinte equação 16:

$$E_c = [(F_2 - F_1) \cdot l_1 / (u_1 - u_2) \cdot A] \quad \text{MÓDULO DE ELASTICIDADE (15)}$$

Onde:

E_c = módulo de elasticidade à compressão (kgf/cm^2)

F_2 = 40% da força máxima ($\text{kgf}/$)

F_1 = 10% da força máxima ($\text{kgf}/$)

l_1 = vão de deformação (mm)

u_1 = deformação correspondente à 10% da força máxima (mm)

u_2 = deformação correspondente à 40% da força máxima (mm)

E onde:

$A = b \cdot h$

A = Área da seção (mm^2)

b = Largura do corpo de prova (mm)

h = Espessura do corpo de prova (mm)

3.3.5 Determinação do Módulo de ruptura à compressão

O módulo de ruptura foi obtido do mesmo diagrama carga-deformação registrado pelo software Tesc® e calculado segundo a norma europeia EN789, segundo a equação 17:

$$\text{MOR} = F_{\text{máx}}/A$$

MÓDULO DE RUPTURA (16)

MOR = módulo de ruptura (kgf/cm²)

F_{máx} = força máxima (kgf)

A = área da seção (cm²)

3.3.6 Tensão de cisalhamento

Para a confecção dos corpos de prova de cisalhamento foram seccionados primeiramente toretes com 30 cm e posteriormente retirados vigotes no mesmo comprimento com sobre medida de 1 cm em relação seção transversal final do corpo de prova e expostos em ambiente ventilado para perda de umidade. Os vigotes foram orientados para retirada dos copos no sentido paralelo a grã da madeira. Posteriormente foram confeccionados os corpos de prova e acondicionados em câmara climática até o momento do ensaio.

Foi retirado de cada árvore um corpo de prova de cada lado do diâmetro no sentido medula-casca, conforme Figura 9.

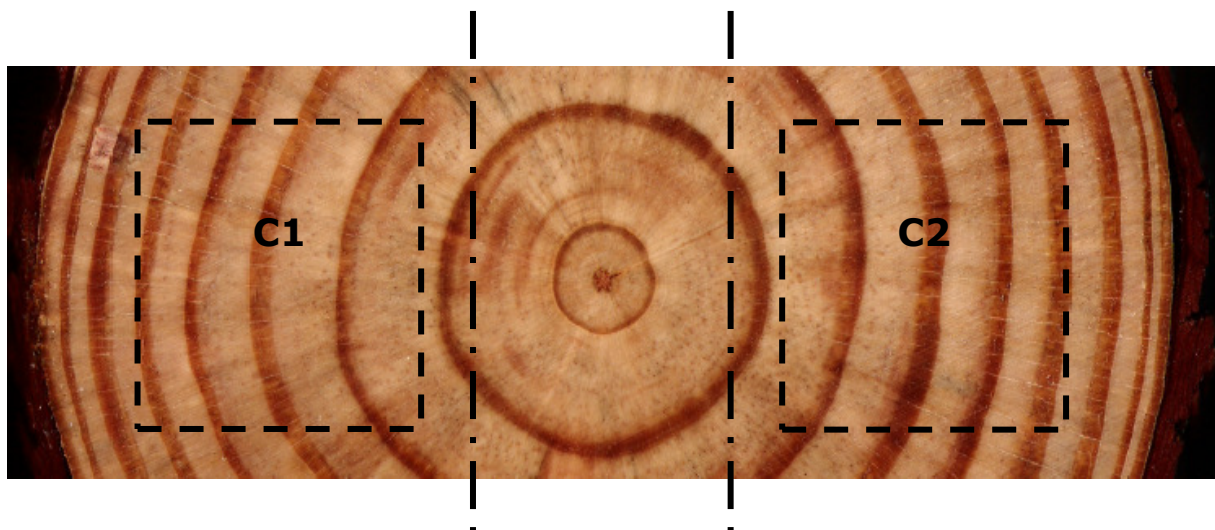


FIGURA 9. ESQUEMA DE RETIRADA DOS CORPOS DE PROVA DE CISALHAMENTO

FONTE: O autor (2009)

As dimensões dos corpos de prova e a realização dos ensaios seguiram os critérios da norma COPANT 463:1972.

O ensaio foi realizado com a aplicação da força cortante atuando no sentido paralelo aos anéis de crescimento da madeira. A tensão de cisalhamento foi calculada conforme resultados extraídos do software Tesc[®] da máquina de ensaios utilizada e conforme a seguinte equação 18:

$$T_{\text{cis}} = F_{\text{máx}}/A \quad \text{TENSÃO DE CISALHAMENTO MÁXIMA (17)}$$

Onde:

T_{cis} = tensão de cisalhamento máxima suportada (Kgf/cm²)

$F_{\text{máx}}$ = força máxima (Kgf)

A = área da superfície submetida ao cisalhamento (cm²)

As especificações dos equipamentos utilizados no presente trabalho para medição das variáveis estão descritas no Quadro 1.

QUADRO 1. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA MENSURAÇÃO DAS VARIÁVEIS E RESPECTIVOS CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO

EQUIPAMENTO	MODELO	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	CERTIFICADO CALIBRAÇÃO	UTILIZADO EM
Estufa de Secagem e esterilização com circulação de ar Nova Ética	400ND	15°C a 200°C \pm 1°C (máxima variação) Resolução da Indicação: 0,1°C	23/10/2008 J233356/2007	Determinação: Teor de umidade ME _{ap} MEB _{bas}
Estufa de Secagem e esterilização com circulação de ar Nova Ética	400-9D	15°C a 200°C \pm 1°C (máxima variação) Resolução da Indicação: 0,1°C	03/10/2008 LMC 2548-07	Determinação: Teor de umidade ME _{AP} , MEB _{bas}
Paquímetro digital Mitutoyo	Série 0152494	Faixa de medição: 0 a 200 mm Resolução 0,01 mm	19/10/2008 S214744/2007	Determinação: ME _{ap} , MOE, MOR Retratibilidade
Paquímetro digital Mitutoyo	Série 0152495	Faixa de medição: 0 a 200 mm Resolução 0,01 mm	22/10/2008 S214914/2007	
Balança digital Toledo 15 kg	9094c/1	Carga Máxima 15000g, Mínimo 100g Taara: não especificada Precisão: 5 g	23/11/2008 18407.03	Determinação: ME _{bas}
Balança Ohaus linha Adventurer	ARC120	Carga máxima: 3100 g Precisão: 0,01g	13/11/2008 018407.01	Determinação: ME _{ap} , MOE, MOR
Máquina Universal de Ensaios EMIC	DL 10000 MF	Carga Máx. 10tf	22/11/2008 6049/07	Determinação: MOE, MOR
Célula de carga	Nº 4623	100 kn		
Máquina Universal de Ensaios EMIC	DL 30000 MF	Carga Máx. 30tf	22/11/2008 6046/07	Determinação: MOE, MOR
Célula de carga	Nº 7916	300 KN		

FONTE: O autor (2009)

3.4 Análise estatística

As técnicas utilizadas para avaliação dos dados neste estudo foram as multivariadas que tratam diversas variáveis ao mesmo tempo.

Antes do início das análises foi realizado tratamento de *outliers* na matriz de dados das variáveis. Assim os valores que se encontravam na condição de *outlier* foram descartados das análises por razões diversas, tais como; existência de defeitos de amostras, incorreções de medidas, etc.

3.4.1 Análise de correlação entre as variáveis

Foram verificadas neste estudo as relações entre as variáveis avaliadas, segundo a equação 3 do item 2.6.1 da revisão de literatura. Essa análise foi realizada com auxílio do programa Statgraphics Centurion[®].

3.4.2 Análise dos componentes principais

Neste trabalho foram utilizadas as técnicas de componentes principais para verificar a participação das variáveis na variância total dos dados.

O objetivo da análise dos componentes principais foi a obtenção de um pequeno número de combinações lineares das 17 variáveis que explicam a maior parte da variabilidade dos dados. Essa análise foi realizada conforme descrito no item 2.6.2 com auxílio do programa Statgraphics Centurion[®].

3.4.3 *Análise de cluster (agrupamento)*

Para fins deste estudo, a análise de cluster foi utilizada para agrupar as famílias com base em suas características tecnológicas.

O agrupamento das famílias foi realizado utilizando-se do método de agrupamento *K-means* baseado na distância euclidiana, tendo como critério de agregação das respostas, o centróide, conforme descrito no item 2.6.3 da revisão de literatura. Essa análise foi realizada com auxílio do programa Statgraphics Centurion®.

MANOVA (multiple analysis of variance)

Utilizou-se para a verificação da eficiência dos agrupamentos uma análise de variância multivariada (MANOVA) a fim de verificar a existência de diferenças significativas entre os vetores de valores médios de propriedades de cada grupo de variáveis. Procedimentos esses recomendados por Johnson & Wichern (1998) e por Mardia *et al.*, (1979).

Para esta validação utilizou-se o teste de Lambda de Wilks na combinação linear das variáveis dependentes conforme descrito no item 2.6.3 da revisão de literatura e utilizou-se o programa Statistica versão 5.1.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Seguem os resultados obtidos com base nas características avaliadas.

4.1 Características dendrométricas

A média geral das características de crescimento mensuradas para as 120 famílias de *P. taeda* estão descritas na Tabela 1.

TABELA 1. ESTATÍSTICA GERAL DAS CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DAS 120 FAMÍLIAS DE *P. TAEDA*

FAM	H _{com}			DAP		
	MÉDIA	DP ¹	CV ²	MÉDIA	DP ¹	CV ²
MG	9.73	1.13	11.72	20.73	2.04	9.9
DP ³	0.71			1.55		
CV ⁴	7.27			7.47		
MINIMO	6.84			15.10		
MAXIMO	11.1			24.66		

NOTA: H_{com} = altura comercial (m); DAP = diâmetro a altura o peito (cm); FAM = grupos de famílias avaliados; MÉDIA = média da família; DP¹ = desvio padrão dentro da família; CV² = coeficiente de variação da família (%); MG = média geral das famílias; DP³ = desvio padrão entre as famílias; CV⁴ = coeficiente de variação das famílias

FONTE: O autor (2009)

Conforme a Tabela 1 as médias das famílias encontradas para H_{com} apresentaram valores mínimo e máximo respectivos de 6,84 m e 11,10 m. Para DAP médio das famílias os valores mínimo e máximo encontrados foram de 15,1 cm e 24,66 cm, respectivamente.

O Quadro 2 apresenta valores, das características, avaliadas por outros autores. Os valores de H_{com} e DAP encontrados por Klock (2000) foram os mais próximos dos valores encontrados neste estudo uma vez que o material avaliado pelo autor era de idade próxima a do material aqui avaliado (11 e 10 anos respectivamente). Contudo para o DAP o autor Chies (2005) encontrou um diâmetro

próximo ao deste estudo e de Klock (2000) apesar da idade do material avaliado pelo mesmo ser de idade mais adulta (21 anos). Da mesma forma, CASTELO (2007) que avaliou árvores com idade mais jovem (18 anos) que Chies (2005) encontrou valores de DAP maiores.

QUADRO 2 – VALORES DE DAP E ALTURA COMERCIAL PARA *PINUS TAEDA* REGIÃO SUL DO BRASIL

AUTOR	LOCAL	ID	H _{COM}	DAP	ESP
KLOCK, 2000	Ventania/PR	11	11,40 cv = 8,07%	28,01 cv=8,5%	-----
CASTELO, 2007	Piraí do Sul/PR	18	19,75	30,08	2,5 x 2,5
CHIES, 2005	Três Barras/SC	21	23,60	27,31	2,5 x 2,5

NOTA: ID = idade da espécie (anos); H_{COM} = altura comercial; DAP = diâmetro a altura do peito; ESP = espaçamento do plantio

FONTE: O autor (2009)

As estatísticas das variáveis avaliadas por cada família encontram-se na Tabela 18 no item “apêndices”

A família 118 apresentou a maior média no ranking das duas características avaliadas, com um coeficiente de variação para DAP de 10,25, estando dentro dos limites propostos acima (>5% e <20%). E com coeficiente de variação para H_{com} de 4,23, considerado um dos menores.

Das médias de H_{com} calculadas para as famílias, 53% apresentaram valores superiores em relação à média geral de todas as famílias. E para a variável DAP 51% das famílias estavam acima do valor médio geral das famílias. Sendo que o desvio padrão e o coeficiente de variação entre as famílias para as duas características avaliadas, foram menores que a média geral dos desvios e dos coeficientes de variação das famílias.

Desta forma, verifica-se que a variação entre as famílias foi inferior em relação à variação apresentada dentro das famílias, para as duas características avaliadas os valores encontrados neste estudo para H_{com} e DAP estão dentro do esperado para espécie, quando comparado com os valores encontrados por outros autores.

4.2 Características tecnológicas

4.2.1 Massa específica básica e aparente

A Tabela 2 apresenta a média geral de massa específica básica e aparente encontrada para as 120 famílias avaliadas.

TABELA 2. ESTATÍSTICA GERAL DE MASSA ESPECÍFICA PARA AS 120 FAMÍLIAS DE *P. TAEDA*

FAM	MEB	DP ¹	CV ²	ME _{verde}			ME _{clim}			ME _{0%}		
				MEDIA	DP ¹	CV ²	MEDIA	DP ¹	CV ²	MEDIA	DP ¹	CV ²
MG	388.03	26.12	6.73	587.13	113.7	19.1	419.02	38.83	9.24	383.22	37	9.53
DP³	15.18			53.83			20.81			19.97		
CV⁴	3.91			9.15			4.97			5.21		
MINIMO	351.68			434.28			376.18			343.81		
MAXIMO	426.79			743.53			522.30			483.38		

NOTA: MEB = média da família (kg/m^3); ME_{verde} = massa específica verde (kg/m^3); ME_{clim} = massa específica climatizada (kg/m^3); ME_{0%} = a específica seca a 0% (kg/m^3); FAM = grupos de famílias avaliadas; MEDIA = média da família; DP¹ = desvio padrão dentro da família; CV² = coeficiente de variação da família (%); MG = média geral das famílias; DP³ = desvio padrão entre as famílias; CV⁴ = coeficiente de variação das famílias

FONTE: O autor (2009)

Dos valores de MEB apresentados na Tabela 2, fez-se um ranking do menor para o maior valor das amplitudes encontradas, sendo possível destacar duas classes de massa específica; a primeira com amplitude de 351,68 até 400 kg/m^3 com 76% das famílias e a segunda de 400 até 426,79 kg/m^3 com os 24% restantes, sendo esses extremos os valores mínimos e máximos, respectivos, encontrados o grupo de famílias avaliadas.

As estatísticas da variável massa específica básica, por família, encontram-se na Tabela 19 no item “apêndices”

O maior coeficiente de variação encontrado para as famílias foi de 12,47% pertencente à família 120, sendo que 25% das famílias apresentaram coeficientes de variação abaixo de 5%.

O desvio padrão e o coeficiente de variação entre as famílias foram menores que a média geral dos desvios e dos coeficientes de variação das famílias.

Pode-se ainda observar, que das médias de MEB calculadas para as famílias, 49% apresentaram valores superiores em relação à média geral de todas as famílias.

Trendelenburg & Mayer (1956) relataram que a alta variabilidade da massa específica na árvore e entre árvores é característica conhecida para o gênero *Pinus* e pode chegar até 30% em relação à média da espécie. Tomaselli (1979) observou que a massa específica média em *P. taeda* atinge 0,46 g/cm³ aos 18 anos. Segundo Matos (1997) a variação da massa específica básica tem sido reportada em madeira juvenil e adulta entre 0,36 e 0,45 g/cm³ e 0,42 a 0,64 g/cm³, respectivamente.

Segundo Klock (2000) e Sulato (2006), avaliando árvores de *P. taeda* com idades de 11 e 14 anos respectivamente, obtiveram valores médios de 413,98 e 403,73 kg/m³ respectivamente.

No Quadro 2 constam outros valores de MEB encontrados por outros autores todos de plantios localizados na Região Sul do Brasil.

QUADRO 3. VALORES DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DE *P. TAEDA* DA REGIÃO SUL DO BRASIL

AUTOR	LOCAL	ID	MEB	ESP	SI
KLOCK, 2000	Ventania/PR	11	413,98 cv=5,2%	-----	K/cm ³
¹ SULATO, 2006	Telêmaco/PR	14	403,73 cv=3%	-----	Kg/m ³
² FERREIRA, 2005	SC/PR	17	0,408 cv=2,4%	2,5 x 2,5	g/cm ³
CHIES, 2005	Três Barras/SC	21	394,74 cv=7,1%	2,5 x 2,5	Kg/m ³
JUNIOR, 1999	Guarapuava/PR	23	0,470 cv=12,7%	2,0 x 2,5	g/cm ³
SHIMOYAMA, 2005	Sengés/SP	28	0,574 cv=9,1%	-----	g/cm ³
³ HASSEGAWA, 2003	Alfredo Wagner/SC	25	0,392	-----	g/cm ³
MUNIZ, 1993	Irati/PR	30	0,472 cv=5,4%	2,0 x 2,5*	g/cm ³

NOTA: ID = idade da espécie (anos); MEB = valores médios de massa específica básica; ESP = espaçamento do plantio; SI = grandezas ¹ = média de 3 classes de produtividade; ² = estimativa da média de 4 localizações; ³ = média de 3 classes diamétricas; * espaçamento inicial, submetidas a três desbastes

FONTE: O autor (2009)

Os valores médios individuais encontrados de massa específica básica das famílias, considerando a madeira juvenil deste estudo, estão dentro da amplitude encontrada e relatada pelos autores no Quadro 2, levando-se em consideração as diferenças em idade.

Por se tratar de uma análise fenotípica e não genética desse material, não foi possível verificar se a variação é genética, podendo apenas relatar que as famílias avaliadas seguiram um padrão de valores para massa específica básica esperado para a espécie.

Os valores de massa específica aparente apresentados na Tabela 2 foram avaliados nas condições: verde (acima do ponto de saturação das fibras > 28% de umidade), climatizado (próximo a 12% de umidade) e estado seco (0% de umidade).

Como para as outras propriedades avaliadas o desvio padrão e o coeficiente de variação calculado entre as famílias apresentaram-se menores do que a média geral dos desvios e do coeficiente de variação das famílias.

Os valores máximos e mínimos encontrados para ME_{verde} foram de 743,53 e 434,28. Para ME_{clim} essa amplitude foi de 522,30 a 376,18 e ainda para $ME_{0\%}$ os extremos foram de 483,38 e 343,81.

Observa-se que a maior variação encontrada foi para as dimensões verdes (acima do ponto de saturação das fibras) onde a água livre é presente. Pode-se atribuir essa maior variação, as diferenças de maior ou menor absorção pelos espaços celulares das árvores dentro da mesma família e entre famílias. Uma vez que, o tamanho das células é um fator que influencia a massa específica (PANSKIN & ZEEUW, 1970) e grande parte do peso de uma árvore e, em alguns casos a maior parte dele, é devida a presença de água preenchendo principalmente os espaços vazios celulares. Assim havendo diferenças de massa específica entre árvores (SPURR & HYVARINEN, 1954; KLOCK, 1989; MUÑIZ, 1993,), os tamanhos e proporções destes elementos poderão ser diferentes entre árvores. Assim o conteúdo de umidade (ou água livre absorvida) será maior em árvores que tenham os lumens maiores e vice-versa.

Assim analisando a Tabela 3 para as variáveis ME_{clim} e $ME_{0\%}$ as quais apresentaram variação menor, pode-se distinguir as famílias avaliadas, em duas classes. Essa classificação foi realizada com auxílio da planilha de cálculo Excel apenas colocando em ordem crescente os valores de massa específica. Para ME_{clim} 83,3% das famílias apresentaram médias de 400,06 a 522,30 kg/m^3 sendo que esse

extremo superior foi considerado o maior valor encontrado dentre famílias. A segunda classe obteve os valores de 384,30 a 399,81 kg/m³ sendo esse extremo inferior o valor mínimo encontrado para as famílias. Para ME_{0%}, 16,7% das famílias apresentaram valores entre 400,15 e 483,38 e o percentual restante apresentou valores de 350,46 a 399,80.

Segundo Matos (1997) a variação da massa específica de madeira juvenil de *P. taeda* L. encontrada em plantios de 18 e 30 anos foi de 0,44 a 0,46 g/cm³, respectivamente e 0,55 e 0,59 para madeira adulta.

Klock (2000), avaliando progênies de *P. taeda* de 11 anos de idade encontrou para massa específica aparente avaliada a 12% de umidade o valor médio de 503,2 kg/m³. Muñoz (1993) avaliando árvores da mesma espécie obteve o valor médio de 0,46 g/cm³ para o lenho juvenil. O valor médio para a árvore é observado no Quadro 3 e apresenta valores médios dessa espécie encontrados por outros autores.

QUADRO 4. VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE OUTROS AUTORES

AUTOR	LOCAL	ID	ME _{AP}	ESP	SI
KLOCK, 2000	Ventania/PR	11	503,2 cv = 14,7%	-----	Kg/m ³
CHIES, 2005	Três Barras/SC	21	450,2 cv = 6,7%	2,5x2,5	Kg/m ³
JUNIOR, 1999	Guarapuava/PR	23	0,58 cv = 12,06%	2,0x2,5	g/cm ³
MUNIZ, 1993	Irati/PR	30	0,524 cv = 4,8%	2,0x2,5*	g/cm ³

NOTA: ID = idade da espécie (anos); ME_{ap} = massa específica aparente com teor de umidade relatados entre 12 e 15 % umidade. ESP = espaçamento do plantio; SI = grandezas; * espaçamento inicial, submetida a três desbastes

FONTE: O autor (2009)

Apesar dos valores encontrados neste estudo estarem dentro da amplitude encontrada por esses autores, não serve como parâmetro de comparação.

As estatísticas para a massa específica aparentes, por cada família, encontram-se na Tabela 20 no item “apêndices”.

4.2.2 Retratabilidade

A Tabela 3 apresenta os coeficientes de contração máxima linear para o grupo de famílias avaliadas.

TABELA 3. ESTATÍSTICA GERAL DE MASSA ESPECÍFICA PARA AS 120 FAMÍLIAS DE *P. TAEDA*

FAM	β_{vol}			β_{tang}			β_{rad}			β_{long}		
	MÉDIA	DP ¹	CV ²	MÉDIA	DP ¹	CV ²	MÉDIA	DP ¹	CV ²	MÉDIA	DP ¹	CV ²
MG	9,02	0,91	10,11	6,02	0,58	9,70	2,97	0,47	16,02	0,26	0,12	47,70
DP³	0,50			0,35			0,27			0,07		
CV⁴	5,56			5,77			9,00			26,55		
MINIMO	7,83			4,90			2,27			0,10		
MAXIMO	10,90			7,04			3,99			0,51		

NOTA: β_{vol} , β_{tang} , β_{rad} , β_{long} = coeficientes de contração máxima volumétrica e lineares tangencial radial e longitudinal (%); FAM = grupos de famílias avaliados; MÉDIA = média da família; DP¹ = desvio padrão dentro da família; CV² = coeficiente de variação da família (%); MG = média geral das famílias; DP³ = desvio padrão entre as famílias; CV⁴ = coeficiente de variação das famílias

FONTE: O autor

Os valores máximos e mínimos apresentados para β_{vol} foram de 10,90 e 7,83, para β_{tang} 7,04 e 4,90%, para β_{rad} foram de 3,99 e 2,27% e para β_{long} foram de 0,51 e 0,10%, respectivamente.

As estatísticas para coeficientes de contração máxima, por cada família, encontram-se na Tabela 21 no item “apêndices”

Conforme observado nos resultados das variáveis anteriores, os desvios e variações para estas três variáveis foram menores entre as famílias comparados em relação à média dos desvios e coeficientes de variação das famílias.

Para a contração volumétrica máxima (β_{vol}), apenas 13,3% das famílias apresentaram coeficientes de variação acima de 15% e 10,8% apresentaram coeficientes menores que 5%.

Os coeficientes de contração máxima linear longitudinal tiveram variação alta em relação às outras características avaliadas. Isso pode ser atribuído ao fato da madeira deste estudo ser 100% lenho juvenil. Conforme relatado anteriormente, esta tende a ser mais instável por possuir maior ângulo microfilar da camada S2 (PANSIN & ZEEUW, 1970, LATORRACA & ALBUQUERQUE, 2000, GATTO,

2008). Mesmo que os corpos de prova tenham sido orientados em relação à grã da madeira, depois de climatizados e principalmente após a secagem a 0% apresentaram grã muito retorcida o que dificultou na tomada exata das medidas longitudinais, causando assim variações de ordem elevada dentro da mesma família. Pode-se observar que essa alta variação em relação às outras contrações avaliadas ocorreu também para os valores obtidos por Chies (2005) conforme Tabela 7. Contudo, os últimos foram menores, o que pode ser atribuído a idade adulta a qual, segundo a literatura, apresentam menores ângulos microfibrilares e, portanto podem apresentar comportamento mais estável e por conseqüência variações menores.

Chong et al. (1989) confirmando observações de vários autores, afirma que as contrações volumétricas e lineares, tangencial e radial são mais baixas na madeira juvenil de espécies do gênero *Pinus*, enquanto que a contração longitudinal e anisotropia de contração são elevados. McAlister & Clark (1992) afirmam também que para espécies do gênero *Pinus*, as contrações longitudinais nem sempre serão menores na madeira juvenil.

O Quadro 4 apresenta valores médios desses coeficientes obtidos por outros autores para a mesma espécie.

QUADRO 5. COEFICIENTES DE CONTRAÇÃO MÁXIMA LINEARES DE *P. TAEDA*

AUTOR	LOCAL	ID	β_{tang} (%)	β_{rad} (%)	β_{long} (%)	β_{vol} (%)	ESP
KLOCK, 2000	Ventania/PR	11	6,77	3,87	0,223	10,58	-----
SIMIONI, 2002	Planalto Sul/SC	19	7,34	4,76	0,81	11,91	-----
CHIES, 2005	Três Barras/SC	21	6,73 cv = 8,40	3,38 cv = 8,90	0,19 cv = 31,88	10,05 cv = 7,86	2,5x2,5
JUNIOR, 1999	Guarapuava/PR	23	7,66 cv = 13,05	4,95 cv = 27,88	-----	12,61 cv = 16,89	2,0x2,5
MUNIZ, 1993	Irati/PR	30	5,89 ^J 7,61 ^A cv = 16,67 [*]	3,01 ^J 4,77 ^A cv = 17,36 [*]	0,18 ^J 0,32 ^A cv = 13,78 [*]	9,30 ^J 13,38 ^A cv = 13,85 [*]	2,0x2,5

NOTA: ID = idade da espécie (anos); β_{vol} , β_{tang} , β_{rad} , β_{long} = valores médios de contrações máximas lineares; ESP = espaçamento do plantio; ^J = média para lenho juvenil; ^A = média para lenho adulto; * coef. de variação para a espécie

Fonte: O autor (2009)

Klock (2000) pode constatar altas variações e diferenças significativas dentro da espécie *P. taeda* (tabela7) para os mesmos coeficientes aqui estudados.

Observando a Tabela 3, pode-se considerar que os valores médios obtidos para essas características, estão dentro da amplitude encontrada pelos demais

autores, levando-se em consideração idade, localizações, e outros aspectos. Contudo, toma-se o cuidado de não utilizá-los como parâmetro de comparação por pois não foi realizada a análise genética desses materiais.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios dos coeficientes de anisotropia e retratibilidade para as 120 famílias avaliadas.

TABELA 4. ESTATÍSTICA GERAL PARA ANISOTROPIA E COEFICIENTES DE CONTRAÇÃO DAS 120 FAMÍLIAS DE *P. TAEDA*

FAM	AC			QR_{vol}			QR_{tang}			QR_{rad}		
	MEDIA	DP ¹	CV ²	MEDIA	DP ¹	CV ²	MEDIA	DP ¹	CV ²	MEDIA	DP ¹	CV ²
MG	2,11	0,27	12,72	0,35	0,03	9,74	0,33	0,04	11,50	0,12	0,02	14,88
DP ³	0,17			0,02			0,02			0,01		
CV ⁴	8,28			5,32			7,04			8,45		
MINIMO	1,69			0,31			0,25			0,09		
MAXIMO	2,77			0,42			0,38			0,15		

NOTA: AC = coeficiente de anisotropia (β_{tan}/β_{rad}); QR_{vol} , QR_{tang} , QR_{rad} = coeficientes de contração volumétrico, tangencial e radial (%/%) ; FAM = grupos de famílias avaliados; MEDIA = média da família; DP¹ = desvio padrão dentro da família; CV² = coeficiente de variação da família (%); MG = média geral das famílias; DP³ = desvio padrão entre as famílias; CV⁴ = coeficiente de variação das famílias

FONTE: O autor (2009)

Para AC os valores respectivos máximos e mínimos encontrados foram de 2,77 e 1,69.

Como a anisotropia é resultado da relação β_{tan}/β_{rad} , logo o coeficiente ideal seria o mais próximo de 1. Assim, quanto maior for os desvios entre as variações dimensionais nesses dois sentidos (tangencial e radial), maior será a anisotropia e menor a estabilidade da madeira no decorrer da secagem para seu beneficiamento.

Segundo literatura madeiras com AC entre 1,6 a 1,9 são consideradas de média qualidade. Assim, conforme a amplitude das médias das famílias apresentada acima, pode-se classificar o grupo avaliado como de baixa a média qualidade.

As estatísticas para coeficientes de contração máxima, por cada família, encontram-se na Tabela 22 no item “apêndices”

Considerando que quanto menor o coeficiente de anisotropia mais estável é a madeira, as famílias 17, 20, 25, 24, 50, 64, 82, 90, 96, 102, 108, 120 foram as melhores. Contudo, as famílias 24, 82, 90 e 120 apresentaram coeficientes de variação acima de 15%. Em geral, das famílias avaliadas 30% apresentaram CV maiores de 15% e 9,2% menores de 5%.

Simioni *et al.* (2002) avaliando *P. taeda* do planalto sul catarinense e proveniente de três sítios de distintas classes de qualidades, encontrou valores médios para anisotropia de 1,62 para árvores com idade de 19 anos. Igualmente Junior (1990) avaliando árvores de 23 anos dessa espécie obteve valores médios de 1,62 com coeficiente de variação de 18,51%. Chies (2005) avaliando árvores de 21 anos da mesma espécie do norte catarinense e para espaçamento 2,5 x 2,5 m encontrou valores médios de 2,06.

Chies (2005) em seus estudos sobre influência do espaçamento sobre a qualidade da madeira de *P. taeda* chegou a conclusão de que árvores que contenham maior proporção de madeira juvenil, terão contração volumétrica máximas e lineares menores, no entanto apresentarão coeficientes de anisotropia maiores. Essa tendência foi observada também por Tomaselli (1979), Klock (1989), Muñoz (1993) e Lara Palma & Ballarin (2003). Diante do relato, pode-se então explicar o fato da maior parte das famílias apresentarem coeficientes de anisotropia considerados de baixa a média qualidade, pois são de madeira juvenil.

Os valores máximos e mínimos encontrados para os coeficientes de retratibilidade foram para QR_{vol} de 0,42 e 0,31, para QR_{tang} de 0,38 e 0,25 e para QR_{rad} de 0,15 e 0,09. Para QR_{vol} apenas 9,2% das famílias apresentaram valores de coeficiente de variação acima de 15% e 15,8% apresentaram coeficientes menores que 5%.

A maior parte da utilização da madeira para diversas aplicações é utilizada com conteúdos de umidades, para secagem em estufa de 6 a 10% e de 11 a 15% para secagens ao ar livre. Assim os coeficientes lineares máximos são de pouca aplicação na prática, pois a madeira para fins produtivos não poderá ser retirada sua umidade até 0%. Desta forma, os coeficientes de retratibilidade (ou de inchamento) são os mais aplicáveis na prática, pois representam a contração (ou inchamento) por cada unidade percentual de alteração no teor de umidade.

Assim as famílias que apresentaram menores coeficientes de retratibilidade volumétrica (QR_{vol}) foram as famílias 1, 3, 4, 12, 13, 18, 19, 43, 53, 54, 58, 63, 69, 71, 80, 93 e 101, com valores médios de 0,31 a 0,33. Entretanto as famílias 1, 3, 54 e 71 apresentaram coeficientes de variação acima de 15%.

Simioni *et al.* (2002) caracterizando árvores de *P. taeda* com 19 anos de idade, de três qualidades de sítios, encontrou para os coeficientes de retratibilidade tangencial, radial os valores médios respectivos de 0,30 e 0,18. Chies (2005) obteve

valores médios de 0,271 para retração tangencial ($cv=6,72\%$), 0,148 para retração radial ($cv=10,31\%$) e 0,436 para retração volumétrica ($cv=7,01\%$).

Assim, as amplitudes dos valores encontrados neste estudo apresentam-se próximos aos obtidos pelos autores citados.

4.2.3 Compressão: Módulo de elasticidade e módulo de ruptura e tensão de cisalhamento

A Tabela 5 apresenta os valores médios de módulo de ruptura, módulo de elasticidade obtidos do ensaio de compressão e do ensaio de cisalhamento no sentido paralelo as fibras para as 120 famílias avaliadas.

TABELA 5. ESTATÍSTICA GERAL PARA MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE E TENSÃO DE CISALHAMENTO PARA AS 120 FAMÍLIAS DE *P. TAEDA*

FAM	MOR			MOE			T _{CIS}		
	MÉDIA	DP ¹	CV ²	MÉDIA	DP ¹	CV ²	MÉDIA	DP ¹	CV ²
MG	237,49	34,88	14,71	11990,20	3165,00	26,00	87,59	12,90	14,80
DP³	22,09			2473,61			6,46		
CV⁴	9,30			20,63			7,38		
MINIMO	179,08			5749,60			69,34		
MAXIMO	317,15			21819,05			106,34		

Nota: MOR = módulo de ruptura (Kgf/cm^2); MOE = módulo de elasticidade (Kgf/cm^2); T_{CIS} = tensão de cisalhamento (Kgf/cm^2); FAM = grupo de famílias avaliadas; MEDIA = média da família; DP¹ = desvio padrão dentro da família; CV² = coeficiente de variação da família (%); MG = média geral das famílias; DP³ = desvio padrão entre as famílias; CV⁴ = coeficiente de variação das famílias

Fonte: O autor (2009)

Os valores máximo e mínimo encontrados para o módulo de ruptura foram respectivamente, 317,15 e 179,08 kgf/cm^2 .

As estatísticas para o módulo de ruptura e módulo de elasticidade, por cada família, encontram-se na Tabela 23 no item “apêndices”

O desvio padrão e o coeficiente de variação encontrados entre as famílias foram menores que a média dos desvios e dos coeficientes de variação encontrados para as famílias, apresentando a mesma tendência encontrada para as outras características avaliadas.

Para a variável MOR, 39,2% das famílias avaliadas apresentaram coeficientes de variação acima de 15%. As famílias que apresentaram maior módulo de ruptura foram 11 e a 50 com valores acima de 290 kgf/cm².

A amplitude de médias para o módulo de elasticidade foi de 5749,60 a 21819,05 kgf/cm². A maioria (71,7%) das famílias avaliadas apresentaram coeficientes de variação acima de 15%.

As famílias 11 e 9 apresentaram as maiores médias para o módulo de elasticidade com valores acima de 17.000 kgf/cm².

Junior (1999) encontrou valores médios de MOE e MOR da mesma espécie com idade de 23 anos; respectivos de 91.773 kgf/cm² e 254 kgf/cm². Klock (2000) estudando diferenças significativas entre as espécies de *P. taeda* e *P. maximinoi* encontrou os valores médios de 71.045,68 kgf/cm² para MOE e 252,89 kgf/cm² para MOR para a espécie de *P. taeda*. Muñiz (1993) avaliando a mesma espécie relatou valores médios para lenho juvenil de 92.725,23 kgf/cm² para MOE e 364, 92 kgf/cm² para MOR.

Os valores médios de MOR resultantes deste estudo foram inferiores aos valores encontrados pelos autores citados. Isso pode ser devido a idade da espécie dos autores ser superior à avaliada por este estudo.

Quanto ao módulo de elasticidade os valores deste estudo foram bem inferiores aos relatados por esses autores, isso se deve ao tipo de amostragem desse estudo ser distinto dos autores que avaliaram os corpos de prova com dimensões segundo norma COPANT. Contudo este estudo devido aos diâmetros influenciarem na retiradas de corpos de prova segundo a mesma norma, foram retirados com dimensões 50% inferiores. E ainda ressaltando que devido a menor idade o material desses corpos de prova situava-se mais próximo ainda a medula, onde se obtém resistências com valores ainda mais baixos.

Contudo a tendência de espécies de *Pinus* em relação a madeira juvenil e adulta tem sido relatada pelos autores como sendo linear, assim quanto maior a resistência encontrada na madeira juvenil deste estudo a tendência é de que a madeira adulta proveniente desse material venha a ser maior também.

Os resultados das análises de a tensão de cisalhamento, por cada família, encontram-se na Tabela 24 no item “apêndices”

Para a tensão de cisalhamento a amplitude encontrada para as famílias avaliadas foi de 69,34 a 106,34 Kgf/cm². Sendo que as famílias 54, 44, 100 e 90

apresentaram as maiores tensões, considerando-se valores acima de 100,00 Kgf/cm². Contudo a família 54 apresentou coeficiente de variação acima de 15%.

Para o grupo de famílias avaliadas 30,8% apresentaram valores de coeficiente de variação acima de 15% e 9,2% apresentaram valores inferiores a 5%.

O desvio padrão e o coeficiente de variação encontrado entre as famílias foram menores que a média dos desvios e dos coeficientes de variação encontrados para as famílias, seguindo o mesmo comportamento encontrado para as outras características avaliadas.

Junior (1999) encontrou para a mesma espécie, com 23 anos, o valor médio de 114 kgf/cm². Klock (2000) avaliando árvores dessa espécie com 11 anos, encontrou valor médio de 95,85 kgf/cm². Lucas Filho (1997) encontrou valor médio de 73, 25 kgf/cm² para espécie de *P. taeda* com 23 anos.

Assim os valores médios de tensão cisalhante encontrados para as 120 famílias, levando-se em consideração as diferentes idades e outras características silviculturais e genéticas, podem ser considerados coerentes em relação aos valores encontrados pelos autores para a espécie de *P. taeda*.

É válido ressaltar que pelo fato do material avaliado ser de madeira juvenil, os valores de suas propriedades foram inferiores em relação à média para a espécie relatada em algumas das literaturas consultadas neste estudo.

4.2.4 *Estudo das correlações de Pearson entre as propriedades da madeira*

A Tabela 6 apresenta os coeficientes de correlação entre as 17 propriedades avaliadas. Em vermelho estão destacadas as correlações redundantes, ou seja, correlações que conceitualmente eram esperadas uma vez que uma contribui na mensuração da outra. Em azul estão destacadas as correlações significativas ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 6. CORRELAÇÕES DE PEARSON ENTRE AS PROPRIEDADES AVALIADAS

VAR	ME _{bas}	MOR	MOE	T _{CIS}	β_{vol}	β_{tang}	β_{rad}	β_{long}	AC	QR _{vol}	QR _{tang}	QR _{rad}	ME _{verde}	ME _{clim}	ME _{0%}	H _{com}	DAP
ME _{bas}	1,00																
MOR	0,45	1,00															
MOE	0,17	0,54	1,00														
T _{CIS}	-0,09	0,05	0,07	1,00													
β_{vol}	0,41	0,27	0,26	0,09	1,00												
β_{tang}	0,25	0,21	0,29	0,14	0,86	1,00											
β_{rad}	0,48	0,33	0,31	-0,18	0,80	0,50	1,00										
β_{long}	-0,06	-0,23	-0,37	-0,01	-0,34	-0,43	-0,38	1,00									
AC	-0,34	-0,21	-0,19	0,11	-0,34	0,02	-0,76	0,27	1,00								
QR _{vol}	0,35	0,32	0,32	0,04	0,62	0,62	0,52	-0,35	-0,20	1,00							
QR _{tang}	0,02	0,09	0,18	0,16	0,47	0,74	0,05	-0,24	0,37	0,65	1,00						
QR _{rad}	0,43	0,37	0,33	-0,03	0,64	0,41	0,80	-0,38	-0,64	0,78	0,23	1,00					
ME _{verde}	0,03	0,13	0,16	0,14	0,28	0,31	0,19	-0,17	0,00	0,13	0,18	0,12	1,00				
ME _{clim}	0,63	0,47	0,17	-0,02	0,62	0,45	0,63	-0,17	-0,31	0,50	0,18	0,57	0,32	1,00			
ME _{0%}	0,65	0,50	0,23	-0,02	0,67	0,50	0,65	-0,20	-0,33	0,57	0,23	0,63	0,30	0,97	1,00		
H _{com}	-0,26	0,04	0,04	0,28	-0,08	0,03	-0,14	0,07	0,17	-0,04	0,08	-0,09	0,10	-0,12	-0,14	1,00	
DAP	-0,40	-0,14	-0,08	0,31	-0,10	0,00	-0,20	0,15	0,23	-0,05	0,07	-0,14	0,10	-0,20	-0,22	0,78	1,00

NOTA: MEB = média da família (kg/m³); MOR = módulo de ruptura (Kgf/cm²); MOE = módulo de elasticidade (Kgf/cm²); T_{CIS} = tensão de cisalhamento (Kgf/cm²); β_{vol} , β_{tang} , β_{rad} , β_{long} = coeficientes de contração máxima linear volumétrica, tangencial radial e longitudinal (%); AC = coeficiente de anisotropia (β_{tang}/β_{rad}); QR_{vol}, QR_{tang}, QR_{rad} = coeficientes de contração volumétrico, tangencial e radial (%/%) ; ME_{verde} = massa específica verde (Kg/m³); ME_{clim} = massa específica climatizada (Kg/m³); ME_{0%} = a específica seca a 0% (Kg/m³); H_{com} = altura comercial (m); DAP = diâmetro a altura o peito (cm)

FONTE: o autor (2009)

A primeira correlação destacada foi entre massa específica básica e o módulo de ruptura de 0,45.

A correlação de 0,47 entre MOR e ME_{clim} , foi também observada Klock (2000), porém com um percentual maior (0,76) para árvores de 11 anos. Muñiz (1993) encontrou o valor de 0,94, contudo para árvores de 30 anos. A $ME_{0\%}$ acompanhou a mesma tendência para ME_{clim} apresentando uma correlação de 0,50 com o MOR.

Para a correlação obtida entre MEB e $ME_{0\%}$ (0,65) e entre ME_{clim} e $ME_{0\%}$ (0,97) pode-se destacar a importância da mesma, pois em um programa de melhoramento genético é importante saber qual o valor de massa real em um determinado volume e isso é geralmente mensurado em idades precoces por meio da massa específica básica, sendo esses resultados utilizados para seleção de árvores superiores para formação de futuros pomares de sementes ou plantios comerciais. Assim se há uma boa correlação entre a massa específica básica que representa o estado *in natura* de umidade da árvore em pé pode-se estimar a quantidade de massa seca. Uma vez que a massa específica da madeira juvenil é menor (PANSHIN & ZEEUW, 1970; LATORRACA & ALBUQUERQUE, 2000; BALLARIN & LARA PALMA, 2003; GATTO *et al.*, 2008) em relação a massa específica da madeira adulta. Logo essa correlação pode ser confiável pois quando a árvore se tornar adulta conterá ainda mais matéria lenhosa (e maior massa específica) que a da idade juvenil.

A MEB e o DAP correlacionaram-se negativamente (-0,40). E as demais correlações entre a altura comercial (H_{com}), DAP e massa específica aparente foram negativas e baixas. Zobel e Talbert (1984) relataram que as correlações entre as características de crescimento e a densidade básica da madeira podem ser fracas, positivas ou negativas dependendo da população em foco. De forma que, uma seleção para incremento em características de crescimento não implicam necessariamente em redução da densidade básica média da árvore. Segundo Ferreira (2005) se há fortes correlações negativas entre características, o programa de melhoramento pode ser mais demorado ou poderá comprometer o potencial de ganho em uma das características em foco. No caso, o valor econômico dessas características em questão será o

principal critério de peso. Assim deve-se dar atenção a esse comportamento na seleção genética baseada nessas características.

Houve uma correlação negativa entre as variáveis β_{long} e β_{tang} de -0,43. A causa dessa correlação negativa pode ser devido ao fato da madeira sofrer maior torção por ser lenho juvenil e pelo fato da variável β_{tang} contrair em dimensões maiores para esse tipo de lenho o que causa nas dimensões do sentido longitudinal um “inchamento” pela força de expansão devido à contração da mesma.

Foram obtidas correlações positivas para os coeficientes de contrações lineares bem como, o coeficiente de contração volumétrica (MEB e $\beta_{\text{vol}} = 41$; MEB e $\beta_{\text{rad}} = 48$; β_{vol} e $ME_{\text{clim}} = 62$; β_{vol} e $ME_{0\%} = 67$; β_{tang} e $ME_{\text{clim}} = 45$; β_{tang} e $ME_{0\%} = 50$; β_{rad} e $ME_{\text{clim}} = 63$; β_{rad} e $ME_{0\%} = 65$). A literatura relata a existência de uma relação direta entre a massa específica e coeficientes de contração tangencial e radial. Kollmann (1968) afirma que quanto maior a massa específica da madeira maior é a contração linear e volumétrica.

Muñiz (1993) determinou os coeficientes de correlação entre a massa específica básica e as contrações tangencial, radial e volumétrica máximas para *P. taeda*, idade de 30 anos, e encontrou os valores de 0,87; 0,94 e 0,92 respectivamente. Conforme os dados da autora pode-se observar que a contração radial correlaciona-se melhor com a massa específica básica do que a contração tangencial. O presente estudo encontrou essa mesma tendência relatada pela autora para as correlações de massa específica com os coeficientes de retração e contração, o que pode ser observado nas correlações obtidas entre MEB e QR_{rad} (0,43), QR_{rad} e ME_{clim} (0,57), QR_{rad} e $ME_{0\%}$ (0,63), QR_{vol} e ME_{clim} (0,50), QR_{vol} e $ME_{0\%}$ (0,57) e correlações bem inferiores para QR_{tang} conforme Tabela 11.

Junior (1999) em seus estudos de *P. taeda*, com 23 anos de idade, encontrou valores médios desses coeficientes coerentes com os valores médios das massas específicas básica, aparente e seca (0%) avaliadas do mesmo material.

Conforme relatado por Puehringer (2002) a contração da madeira juvenil está grandemente relacionada com a massa específica. Quanto menor a massa específica maior a contração longitudinal da madeira e quanto maior a

densidade, maior a contração radial, tangencial e longitudinal. Segundo o autor não há uma propriedade facilmente mensurável relacionada à contração longitudinal, e da mesma forma, não há características de crescimento para identificar madeiras propensas a empenar. Apesar disso, evidências sugerem que a contração está mais relacionada com ângulo fibrilar.

Para as variáveis DAP e H_{com} a correlação obtida foi de 0,78. Demonstrando que para o melhoramento pode-se selecionar para apenas uma dessas características pelo fato das mesmas apresentarem tendência linear e positiva.

Neste estudo as correlações para o coeficiente de anisotropia (AC) com a massa específica foram também negativas. Porém de ordem bem menores (-0,34 para MEB, -0,31 para ME_{clim} e -0,33 para $ME_{0\%}$). Segundo Junior (1999), para algumas espécies há correlação entre a massa específica e anisotropia de contração. Muñiz (1993), em dados obtidos de *P. taeda*, com 30 anos, encontrou correlação linear, porém inversa de -0,70 com a massa específica. A autora em seu estudo não encontrou correlações significativas para a madeira de lenho juvenil das árvores, como Choog et al. (1989) trabalhando com *P. palustris* e *P. elliotii*. Esses resultados foram atribuídos à formação de cerne e ao alto conteúdo de extrativos na porção central do tronco, que não apenas elevam o valor da massa específica, como inibem a contração, por ocuparem a região amorfa na celulose constituinte da parede celular.

Segundo Zobel (1981) quase todas as propriedades físicas e químicas da madeira, dentro da zona juvenil, são muito variáveis e praticamente constantes na madeira adulta. Isso pode explicar o fato das correlações encontradas principalmente para variáveis físicas avaliadas neste estudo, obterem correlações inferiores aos valores encontrados pela maioria dos outros autores, pois os mesmos avaliaram madeira em idade adulta.

4.2.5 Análise dos componentes principais

O objetivo da análise dos componentes principais é a obtenção de um pequeno número de combinações lineares das 17 variáveis que explicam a maior parte da variabilidade dos dados.

Na análise dos componentes principais foram obtidos os grupos de variáveis com explicação de 100% da variação total. O gráfico “Scree Plot” (Figura 11) auxilia na escolha dos componentes que mais explicam a variação total dos dados.

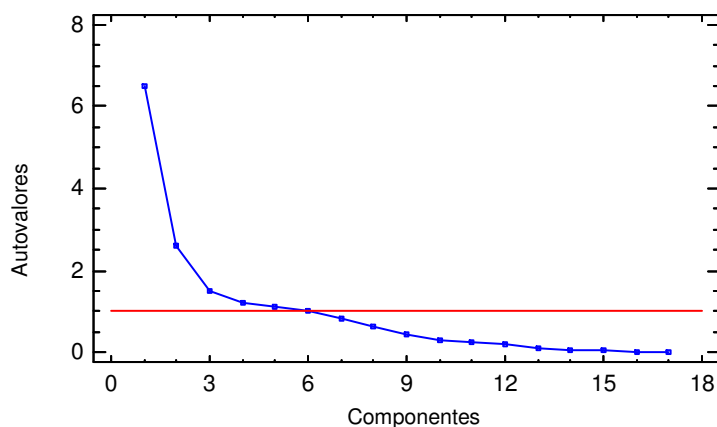


FIGURA 10. GRÁFICO “SCREE PLOT”

Conforme critério de Kaizer, de seleção das componentes citados no item 2.6.2, adotou-se a escolha das componentes com autovalores superiores a 1, os quais explicam mais de 70% da variação total.

A Tabela 7 apresenta os valores dos autovalores que melhor explicam a variação total. Neste caso, 6 componentes foram extraídas. Estes 6 componentes apresentaram autovalores maiores ou iguais a 1. Juntos, eles representam 82,51% da variabilidade dos dados originais.

TABELA 7. AUTOVALORES DOS COMPONENTES EXTRAÍDOS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO

COMPONENTES	AUTOVALORES	PROPORÇÃO EXPLICADA	ACUMULADA
1	6,4862	38,15	38,15
2	2,6226	15,43	53,58
3	1,5259	8,98	62,56
4	1,2320	7,25	69,80
5	1,1144	6,55	76,36
6	1,0458	6,15	82,51

FONTE: O autor (2009)

Estes resultados tem o significado de que as 17 variáveis (propriedades da madeira) avaliadas podem ser substituídas por estas seis componentes, com perda de apenas 17,49% de informação.

Na análise dos componentes principais foi possível também a obtenção dos pesos de cada variável em cada uma das seis componentes extraídas. A Tabela 8 apresenta os pesos dos componentes em relação às variáveis.

TABELA 8. PESOS DOS COMPONENTES

VARIÁVEL	COMPONENTES					
	1	2	3	4	5	6
AC	-0,18532	0,40958	-0,28299	-0,23966	0,22518	-0,20168
β_{long}	-0,15672	-0,15444	0,21699	-0,45166	-0,03798	-0,31544
β_{rad}	0,33645	-0,14095	0,13131	0,14899	-0,24734	0,18570
β_{tang}	0,27922	0,37305	-0,18634	-0,02016	-0,11503	0,03655
β_{vol}	0,33327	0,16475	-0,06902	-0,03068	-0,20945	0,09168
DAP	-0,07418	0,35734	0,57148	0,04662	-0,13963	-0,04177
H _{com}	-0,05607	0,34630	0,56759	0,05900	0,06480	-0,16261
MEB	0,25558	-0,19620	-0,02286	-0,29830	0,22496	-0,16163
ME _{clim}	0,33209	-0,10210	0,09464	-0,26069	0,03871	-0,03434
ME _{verde}	0,10512	0,22640	0,11091	-0,10402	0,27090	0,61348
ME _{0%}	0,33605	-0,07014	0,05595	-0,24321	0,08641	-0,07132
MOE	0,17178	0,05779	-0,03940	0,48907	0,49957	-0,00554
MOR	0,22118	-0,07337	0,12342	0,17774	0,51406	-0,36558
QR _{vol}	0,33177	-0,11841	0,13028	0,16379	-0,23658	-0,09208
QR _{tang}	0,15208	0,47871	-0,28650	-0,10699	-0,06399	-0,15343
QR _{rad}	0,32782	0,13242	-0,02122	-0,01194	-0,16412	-0,28484
T _{CIS}	0,10741	-0,00770	0,16167	-0,41624	0,26849	0,36308

FONTE: O autor (2009)

Para a componente principal 1 que representa a maior parte da (38,15%) a variação total, as contribuições mais importantes foram das variáveis β_{rad} , β_{vol} , ME_{clim} , $ME_{0\%}$, QR_{rad} , QR_{vol} . Por isso foi atribuído a essa componente o nome de “Matéria Seca de Fibras”.

A componente principal 2 que é a segunda componente que mais explica a variação total dos dados (15,43%), teve contribuição maior das variáveis: AC , β_{tang} e QR_{tang} . Assim o nome atribuído foi “Estabilidade Dimensional”.

Para componente principal 3 a contribuição mais importante foi das variáveis DAP e H_{com} e foi-lhe atribuído o nome “Produtividade”.

À componente principal 4 foi atribuído o nome “Madeira Juvenil”, uma vez que a contribuição mais importante foi da variável β_{long} , o que evidencia a grande amplitude de variação da mesma.

Para a componente principal 5 o nome atribuído foi “Resistência Mecânica” uma vez que a contribuição mais importante foi das variáveis MOR e MOE à compressão.

Na componente principal 6 a contribuição mais importante foi a variável tensão de cisalhamento e foi-lhe atribuído esse nome.

A partir da definição das 6 componentes principais explicando 82,5% da variação total, partiu-se para análise de agrupamento.

4.2.6 *Agrupamento das famílias*

A importância de se formar grupos superiores em características tecnológicas vem sendo crucial em programas de melhoramento genético florestais. Contudo, é importante não somente agrupar genótipos superiores como também determinar quais as características que dominam a formação desses grupos, ou seja, neste caso o que faz com que determinadas famílias se agrupem de forma mais próxima. Desta forma, evidenciando-se tais características, poder-se-á recomendar tais grupos para determinado uso final. Como exemplo, se um grupo obtiver menores coeficientes de contração em

relação aos demais, pode-se recomendá-lo para utilizações que requeiram condições mais drásticas de secagem (redução do teor de umidade) do material antes do beneficiamento ou de aplicações, como pisos, que requeiram maior estabilidade dimensional.

Para realização da análise de agrupamento foi gerada primeiramente uma matriz com as médias dos blocos de cada família por variável. Em seguida foi realizada a padronização dos dados por meio da equação $X_i = X_i / \sigma_x$ contida em Cruz (2006).

A padronização dos dados tem o objetivo de aproximar a distribuição das variáveis a uma normal. Assim os dados das variáveis, mesmo tendo grandezas de valores diferenciados, poderão ser analisados dentro de uma mesma escala, facilitando as análises posteriores.

O método k-means utilizado para a junção dos grupos de famílias em função de características tecnológicas, permitiu previamente a escolha da quantidade de grupos a serem estabelecidos. O agrupamento das famílias então foi realizado em função de 6 clusters ou agrupamentos para distribuição das observações ou 120 famílias.

Como parâmetro de agrupamento indicou-se 6 *seeds* ou pontos de referência para os agrupamentos. Estes pontos de referência foram as observações ou valores médios de famílias, em função do resultado dos componentes principais; ou seja, estes dados serviram como ponto de partida para estabelecer o número de agrupamentos desejados, conforme segue:

Componente 1 – referência foi a variável $ME_{0\%}$ e como ponto de referência foi tomada a família (seed) 11, cujo valor médio para esta variável foi o maior.

Componente 2 - Com a variável AC como referência. Neste caso o ponto de referência para agrupamento foi a observação ou família 64 que apresentou menor valor médio de AC.

Componente 3 - Observação de referência família 38 com maior relação DAP/H_{com} .

Componente 4 - tendo a família 111 com o menor valor médio para a propriedade física β_{long} .

Componente 5 - Família de referência 20 com maior valor média para a propriedade MOR.

Componente 6 – A família de referência para agrupamento foi a 82 com maior valor médio para a variável T_{cis} .

Assim as 120 famílias foram distribuídas em 6 clusters. A Tabela 9 apresenta a contribuição em valores quantitativos e percentuais de cada cluster na distribuição das famílias.

TABELA 9. RESUMO DO PERCENTUAL DE DISTRIBUIÇÃO POR CLUSTER

CLUSTER	MEMBROS	PERCENTUAL
1	12	10,00
2	20	16,67
3	31	25,83
4	25	20,83
5	13	10,83
6	19	15,83

NOTA: Seeds: famílias: 11 – 64 – 38 – 111 – 20 – 82

FONTE: O autor (2009)

As Tabelas 10 e 11 apresentam os valores dos centróides utilizados como parâmetro para formação dos clusters.

TABELA 10. VALORES DOS CENTRÓIDES

CLUSTER	AC	β_{long}	β_{rad}	β_{tang}	β_{vol}	DAP	H _{com}	MEB	ME _{clim}
1	7,42318	1,74263	6,4535	10,2629	10,4402	8,995	8,00258	14,1945	10,9422
2	7,55955	1,90792	5,67965	9,15092	9,36112	8,71935	7,87721	13,391	10,068
3	7,50875	2,0748	5,8526	9,28702	9,52993	8,66324	7,79923	13,586	10,1589
4	7,54967	1,88917	6,08681	9,78332	9,94181	8,63368	7,87046	13,7832	10,3389
5	7,34345	1,71558	6,06862	9,49397	9,74875	8,43188	7,70119	13,8874	10,4189
6	7,64474	1,54968	6,11775	9,97041	10,0891	8,50021	7,74161	13,5655	10,4442

FONTE: O autor (2009)

TABELA 11. VALORES DOS CENTRÓIDES

CLUSTER	ME _{verde}	ME _{0%}	MOE	MOR	QR _{rad}	QR _{tang}	QR _{vol}	T _{cis}
1	4,97382	10,6087	3,53828	6,49893	7,47294	9,35579	11,3835	6,90329
2	4,75728	9,63182	3,33842	6,07504	6,55183	8,4319	10,178	5,95398
3	4,78259	9,66814	3,22979	5,95632	6,61806	8,45349	10,192	6,63632
4	4,94231	9,90454	3,42706	6,20537	6,87619	8,95317	10,5995	6,96597
5	5,05881	9,95731	3,41729	6,3221	6,79644	8,66018	10,5227	7,73256
6	4,92255	10,0038	3,5279	6,39988	7,00483	9,28452	10,8111	6,31937

FONTE: O autor (2009)

As tabelas de 12 a 17 apresentam os resultados da análise para cada cluster.

TABELA 12. ESTATÍSTICAS PARA CLUSTER 1

VARIÁVEL	N	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MAXIMO
H _{com}	12	23,88	24,20	20,43	26,59
DAP	12	21,54	21,67	17,71	23,79
T _{CIS}	12	90,35	91,12	83,96	95,12
MOR	12	248,28	241,79	214,07	293,78
MOE	12	12344,29	11826,98	10033,74	19449,97
MEB	12	402,00	401,59	371,43	426,74
ME _{verde}	12	0,60	0,59	0,53	0,69
ME _{clim}	12	0,44	0,44	0,41	0,49
ME _{0%}	12	0,41	0,41	0,38	0,45
β_{vol}	12	8,88	8,95	8,22	9,54
β_{tang}	12	6,44	6,43	6,03	6,73
β_{rad}	12	3,20	3,25	2,83	3,71
β_{long}	12	0,24	0,25	0,10	0,34
AC	12	2,06	2,05	1,84	2,31
QR _{vol}	12	0,38	0,38	0,37	0,40
QR _{tang}	12	0,35	0,35	0,34	0,37
QR _{rad}	12	0,13	0,13	0,11	0,14

FONTE: O autor (2009)

TABELA 13. ESTATÍSTICAS PARA CLUSTER 2

VARIÁVEL	N	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MAXIMO
H _{com}	20	23,50	23,43	20,445	25,98
DAP	20	20,88	20,60	17,870	24,01
T _{CIS}	20	77,93	79,33	60,728	82,19
MOR	20	232,09	237,86	179,174	263,89
MOE	20	11647,01	11944,72	6,070,483	16327,51
MEB	20	379,24	377,74	351,675	410,60
ME _{verde}	20	0,57	0,58	0,435	0,66
ME _{clim}	20	0,41	0,41	0,385	0,43
ME _{0%}	20	0,37	0,37	0,351	0,42
β_{vol}	20	7,96	7,99	7,226	8,79
β_{tang}	20	5,74	5,79	5,228	6,21
β_{rad}	20	2,82	2,76	2,443	3,34
β_{long}	20	0,27	,26	0,135	0,38
AC	20	2,10	2,09	1,828	2,35
QR _{vol}	20	0,34	0,34	0,311	0,36
QR _{tang}	20	0,32	0,32	0,284	0,34
QR _{rad}	20	0,11	0,11	0,103	0,12

FONTE: O autor (2009)

TABELA 14. ESTATÍSTICAS PARA CLUSTER 3

VARIÁVEL	N	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MAXIMO
H _{com}	31	23,27	23,33	16,888	26,57
DAP	31	20,75	20,79	15,093	24,66
T _{CIS}	31	86,86	86,51	83,108	92,01
MOR	31	227,55	228,17	198,085	259,50
MOE	31	11268,04	10978,05	6,349,586	15385,54
MEB	31	384,77	385,94	361,092	409,12
ME _{verde}	31	0,57	0,58	0,467	0,66
ME _{clim}	31	0,41	0,41	0,376	0,47
ME _{0%}	31	0,37	0,37	0,344	0,41
β_{vol}	31	8,11	8,12	7,420	8,67
β_{tang}	31	5,83	5,83	5,029	6,40
β_{rad}	31	2,90	2,88	2,322	3,43
β_{long}	31	0,29	,28	0,162	0,52
AC	31	2,09	2,11	1,750	2,43
QR _{vol}	31	0,34	0,34	0,320	0,36
QR _{tang}	31	0,32	0,32	0,265	0,35
QR _{rad}	31	0,11	0,11	0,097	0,13

FONTE: O autor (2009)

TABELA 15. ESTATÍSTICAS PARA CLUSTER 4

VARIÁVEL	N	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MAXIMO
H _{com}	25	23,48	23,45	20,564	26,34
DAP	25	20,68	20,54	18,081	23,09
T _{CIS}	25	91,17	91,12	87,349	94,99
MOR	25	237,07	237,53	202,096	263,41
MOE	25	11956,27	11617,65	8198,641	15327,38
MEB	25	390,35	392,58	362,508	420,45
ME _{verde}	25	0,59	0,60	0,491	0,74
ME _{clim}	25	0,42	0,42	0,394	0,44
ME _{0%}	25	0,38	0,39	0,363	0,40
β_{vol}	25	8,46	8,50	7,763	9,02
β_{tang}	25	6,14	6,17	5,657	6,40
β_{rad}	25	3,02	3,02	2,512	3,66
β_{long}	25	0,26	0,26	0,171	0,42
AC	25	2,10	2,08	1,694	2,54
QR _{vol}	25	0,35	0,36	0,335	0,36
QR _{tang}	25	0,34	0,34	0,310	0,36
QR _{rad}	25	0,12	0,12	0,110	0,13

FONTE: O autor (2009)

TABELA 16. ESTATÍSTICAS PARA CLUSTER 5

VARIÁVEL	N	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MAXIMO
H _{com}	13	22,98	22,56	21,835	25,10
DAP	13	20,19	19,97	18,789	22,61
T _{CIS}	13	101,20	99,60	96,262	116,35
MOR	13	241,53	245,78	212,666	270,48
MOE	13	11922,20	12082,81	9315,052	15699,53
MEB	13	393,30	401,19	363,075	407,18
ME _{verde}	13	0,61	0,61	0,544	0,70
ME _{clim}	13	0,42	0,43	0,384	0,45
ME _{0%}	13	0,39	0,39	0,350	0,41
β_{vol}	13	8,29	8,30	7,722	9,14
β_{tang}	13	5,96	5,89	5,575	6,57
β_{rad}	13	3,01	3,08	2,474	3,49
β_{long}	13	0,24	0,24	0,102	0,35
AC	13	2,04	1,96	1,787	2,31
QR _{vol}	13	0,35	0,35	0,330	0,38
QR _{tang}	13	0,32	0,33	0,294	0,35
QR _{rad}	13	0,12	0,12	0,098	0,13

FONTE: O autor (2009)

TABELA 17. ESTATÍSTICAS PARA CLUSTER 6

VARIÁVEL	N	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MAXIMO
H _{com}	19	23,10	23,28	20,857	25,82
DAP	19	20,36	20,51	18,665	21,66
T _{CIS}	19	82,71	83,27	78,004	86,29
MOR	19	244,50	241,06	216,613	317,09
MOE	19	12308,09	12516,01	7,204,338	17243,31
MEB	19	384,19	385,50	361,517	401,31
ME _{verde}	19	0,59	0,59	0,470	0,66
ME _{clim}	19	0,42	0,42	0,401	0,45
ME _{0%}	19	0,39	0,39	0,367	0,41
β_{vol}	19	8,58	8,59	8,065	9,15
β_{tang}	19	6,26	6,21	5,791	6,65
β_{rad}	19	3,03	3,04	2,652	3,26
β_{long}	19	0,22	0,22	0,099	0,34
AC	19	2,13	2,10	1,880	2,43
QR _{vol}	19	0,36	0,36	0,344	0,38
QR _{tang}	19	0,35	0,35	0,322	0,37
QR _{rad}	19	0,12	0,12	0,108	0,13

FONTE: O autor (2009)

Observando as Tabelas de 12 a 17 pode-se verificar quais as médias das variáveis para cada cluster e as seguintes informações sobre os atributos dos grupos podem ser extraídas dos clusters formados:

- Cluster 1: as maiores médias encontradas em relação a esse grupo foram para as variáveis H_{com} , DAP, MOR, MOE, MEB, ME_{clim} e $ME_{0\%}$, que respondem melhor à produtividade e a resistência. Podendo indicar as famílias pertencentes a esse grupo a fins mais nobres como estruturas em madeira, móveis, e ainda para a seleção baseada em produtividade como exemplo para a indústria de celulose e papel.

- Cluster 2: as maiores médias encontradas em relação a esse grupo foram para as variáveis de resposta da retratibilidade da madeira sendo: β_{vol} , β_{tang} , β_{rad} , QR_{vol} , QR_{tang} e QR_{rad} . Podendo ser indicado para aplicações que requeiram maior estabilidade do material como para pisos, esquadilhas, encaixes.

Ainda podem ser destacados o cluster 5 para melhor coeficiente de anisotropia e maior massa específica aparente verde (> 28% de umidade). E o cluster 6 para maior β_{long} indicando o menor desempenho de lenho juvenil, por esta variável ser influenciada pelo comportamento mais instável desse tipo de madeira.

O Quadro 5 apresenta as famílias alocadas em cada cluster com suas respectivas finalidades e no item “anexos” as Tabelas 25 a 30 apresentam as médias das variáveis para as famílias por cluster.

QUADRO 6. FAMÍLIAS DESIGNADAS POR CLUSTER

CLUSTERS	FAMÍLIAS	FINALIDADE
1	5, 8, 11, 16, 24, 35, 75, 79, 83, 89, 108, 115	PRODUTIVIDADE / RESISTÊNCIA
2	12, 15, 17, 19, 21, 33, 40, 53, 56, 58, 60, 74, 81, 94, 98, 101, 107, 112, 113	ESTABILIDADE DIMENSIONAL
3	3, 4, 6, 22, 26, 29, 36, 38, 43, 47, 48, 51, 63, 67, 69, 73, 80, 88, 92, 93, 95, 96, 97, 99, 104, 106, 117, 118, 120	-----
4	1, 7, 14, 23, 27, 28, 37, 41, 42, 45, 52, 55, 59, 64, 68, 70, 72, 84, 85, 86, 91, 103, 110	-----
5	10, 18, 25, 32, 44, 46, 50, 54, 65, 82, 90, 100	MENOR ANISOTROPIA E MAIOR MASSA ESPECÍFICA VERDE
6	2, 9, 13, 20, 30, 31, 34, 39, 49, 61, 66, 71, 78, 87, 105, 109, 111, 116	MENOR DESEMPENHO PARA MEDEIRA DE LENHO JUVENIL

FONTE: O autor (2009)

No cluster 1 pode-se observar que as 12 famílias contidas nesse grupo, foram as que reuniram mais variáveis para a seleção com vistas em suas características tecnológicas. Contudo às variáveis DAP e H_{com} a correlação obtida foi de 0,78, neste caso deve-se basear a seleção no melhoramento em apenas uma das duas características pelo fato das mesmas apresentarem tendência linear e positiva. Ainda no cluster 1 as variáveis MOE e MOR apresentaram também uma correlação moderada e positiva podendo se selecionar apenas para uma das duas, recomendando-se selecionar para a variável MOR uma vez que apresentou correlações moderadas e positivas com as outras duas variáveis que destacaram o grupo, ME_{clim} e $ME_{0\%}$. No caso de indicar no grupo apenas uma característica a ser selecionada, a variável $ME_{0\%}$ (massa específica aparente a 0% de umidade) seria a mais recomendável por ter apresentado maiores correlações com as demais e por ser de mais fácil determinação. Principalmente no caso de seleções precoces, em que a massa específica seca é determinada a partir de pequenas amostras verdes (galhos)

para se calcular o potencial de matéria lenhosa para aquele indivíduo (árvore) futuramente.

Para o cluster 2 as variáveis β_{vol} , β_{tang} , β_{rad} , QR_{vol} , QR_{tang} e QR_{rad} que destacaram esse agrupamento apresentaram no estudo de suas correlações, tendências entre as mesmas fortes e positivas e conceitualmente esperadas. Assim recomenda-se selecionar para apenas uma dessas características, sendo a variável β_{vol} a mais recomendável por ter apresentado correlações moderadas, positivas e mais significativas, que as demais variáveis desse grupo, com a massa específica aparente.

O cluster 3 destacou-se como o de menor resistência mecânica uma vez que as variáveis MOE e MOR foram as menores em relação os demais clusters.

O cluster 4 não teve destaque para alguma característica em especial. Estando entre as médias dos demais clusters.

Chama-se atenção às famílias constantes no cluster 5 por conterem os maiores valores para massa específica básica. Não sendo recomendado tal grupo pelo fato de conter mais umidade e a presença desta acarretar mais peso a madeira, significando mais custos no transporte. Uma vez que estará transportando mais água do que matéria lenhosa.

As famílias do cluster 6 devem ser evitadas em uma seleção que se deseje maior estabilidade do madeira pois a variável β_{long} indica, conforme já discutido no estudo das correlações dessa variável, uma menor estabilidade do material por representar maior contração dos sentidos tangenciais o que causa mais torções do lenho juvenil de maneira a causar maior expansão nas dimensões do sentido longitudinal.

Para validação da eficiência dos agrupamentos, ou seja, para verificar a existência real de diferença entre os grupos; foi realizada a análise de variância multivariada (MANOVA) utilizando-se o modelo para efeitos fixos. A Tabela 18 mostra o resultado do teste de Lambda Wilks utilizado para testar a diferença significativa entre os grupos.

TABELA 18. MANOVA - TESTE DE LAMBDA WILKS

EFEITO	LAMBDA WILKS	RAO'S R	DF1	DF2	P-LEVEL
Entre	0,02837*	6,12911*	85*	478*	0,00*

NOTA: o valor de *p-level* indica a existência de diferença estatística entre vetores de médias de pelo menos um par de grupos. Rejeita-se a hipótese de nulidade.

FONTE: O autor (2009)

Pode-se observar, na Tabela 18, que os vetores de médias das variáveis estudadas para cada família, diferem estatisticamente, ou seja, existe pelo menos um grupo (*cluster*) com valor médio das variáveis analisadas diferente estatisticamente dos demais.

A Tabela 19 apresenta o resumo da MANOVA para as variáveis avaliadas. Os valores de *p-level* = 0,00, indicam que pelo menos uma das médias das variáveis T_{CIS} , MEB, ME_{clim} , $ME_{0\%}$, β_{vol} , β_{tang} , β_{rad} , QR_{vol} , QR_{tang} e QR_{rad} para os 6 grupos é diferente estatisticamente.

TABELA 19. MANOVA - PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER

VARIÁVEL DEPENDENTE	MÉDIA SQR EFEITO	MÉDIA SQR ERRO	F(DF 1,2) 5,114	P-LEVEL
H_{com}	1,0	3,0	0,54	0,75
DAP	3,0	2,0	1,32	0,26
T_{CIS}	1032,0	381,0	88,51	0,00
MOR	1218,0	4505437,0	3,20	0,01
MOE	3693471,0	195,0	0,82	0,54
MEB	993,0	0,0	5,10	0,00
ME_{verde}	0,0	0,0	1,27	0,28
ME_{clim}	0,0	0,0	8,08	0,00
$ME_{0\%}$	0,0	0,0	11,13	0,00
β_{vol}	2,0	0,0	15,76	0,00
β_{tang}	1,0	0,0	20,72	0,00
β_{rad}	0,0	0,0	5,15	0,00
β_{long}	0,0	0,0	3,29	0,01
AC	0,0	0,0	0,56	0,73
QR_{vol}	0,0	0,0	42,21	0,00
QR_{tang}	0,0	0,0	16,93	0,00
QR_{rad}	0,0	0,0	10,41	0,00

NOTA: SQR = soma dos quadrados. O valor de *p-level* = 0,00 indica a existência de diferença estatística entre pelo menos um par de grupos.

FONTE: O autor (2009)

5 CONCLUSÕES

As famílias estudadas foram reunidas em seis grupos com características físicas e mecânicas distintas para a produção de madeira com finalidades específicas.

Dos grupos formados: o cluster 1 foi indicado para finalidades que obtenham maior valor agregado como: estruturas em madeira, móveis e papel celulose. O cluster 2 foi indicado para aplicações que requeiram maior estabilidade do material como pisos, esquadilhas, encaixes. As famílias alocadas no cluster 5 apresentaram melhor coeficiente de anisotropia e maior massa específica aparente verde. E as famílias do cluster 6 indicaram menor desempenho para madeira de lenho juvenil.

6 RECOMENDAÇÕES

1) Recomenda-se a avaliação dos parâmetros genéticos variáveis dos clusters 1 e 2 uma vez que esses grupos, principalmente o grupo 1 apresentou a maior quantidade de variáveis reunidas para as mesmas famílias.

2) Recomenda-se na avaliação dos parâmetros genéticos a escolha apenas das variáveis $M_{0\%}$ para o cluster 1 e da variável β_{Vol} para o cluster 2 visto que suas relação com as demais variáveis do mesmo grupo apresentou comportamento moderado a forte, positivas e mais significativas, conforme discussão dos resultados.

3) Recomenda-se antes da avaliação dos parâmetros genéticos das variáveis recomendadas no item 2 (anterior), a realização de um ranking das variáveis para as famílias dos clusters 1 e 2. Para exploração da variabilidade dentro do grupo e ainda recomenda-se uma exploração da variabilidade dentro das melhores famílias do grupo.

7 REFERÊNCIAS

ABIMCI - Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. Estudo Setorial. 2008

AMBIENTE BRASIL. Melhoramento genético florestal. Disponível em: <http://www.guiaflorestal.com.br/index.php?pg=lerartigo&id=63>. Acesso em 14/7/2009

ANDRADE, S. A. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.: influencia da idade e classe de produtividade**. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais).- Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

ARTES, R. Aspectos Estatísticos da Análise Fatorial de Escalas de Avaliação. **Revista de Psiquiatria Clínica**. v. 25, n. 5, p. 223-228, 1998.

ASSIS, T. F. Estratégias de melhoramento para obtenção de madeira de qualidade para laminação e serraria. **Seminário de madeira de Eucalipto: tendências e usos**. FUPEF-UFPR – DETF, 58 pg. Curitiba, 2001.

BAKER, J. B.; LANGDON, O. G. *P. taeda* L. - Loblolly pine. In: BURNS, R.M.; HONKALA, B.H. (Eds.). **Silvics of North America**. Washington: USDA Forest Service. v.1. p.497-512, 1990.

BAMBER. R. K.; BURLEY, J. **The wood properties of radiate pine**. **Commonwealth Agricultural Bureax**, 1983. 84 p.

BATH, K. M.; PRIYA, P. B. Influence of provenance variation on wood properties off teak from the western bash region in India. **IWA Journal**. v. 25, n. 3, p. 273-282, 2004.

BENDTSEN B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal** v.28, n. 10, (61-72) p. 1978.

BENDTSEN, B.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern Cottonwood and Loblolly Pine. **Wood and Fiber Science**, v. 18, n. 1, p. 21-38, 1986.

BOGNOLA, I. **Unidades de manejo para *Pinus taeda* L. no planalto Norte Catarinense, com base em características do meio físico.** 160f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007

BUSSAB, W. O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. F. **Introdução à análise de agrupamentos.** São Paulo: Associação Brasileira de Estatística, 1990.

CAIXETA, R. P.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; LIMA J. T. Propriedades e classificação da madeira aplicadas à seleção de genótipos de *Eucalyptus*. **Revista Árvore.** v. 27, n. 1, p. 43-51, 2003.

CARLE, J.; HOLMGREN, P. Wood from planted forest: a global outlook 2005-2030. **Forest Products Journal** v. 58 n.12 p.6-13, 2008.

CASTELO, P. A. R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão.** 137p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2007.b

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da Madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2005.

CHOONG, E. T ; FOGG, P. J. Effect of cultural treatment and wood type effects on wood properties. **Wood and Fiber Science.** v. 21, n. 2, p.193-206, 1989.

CLARK, A. III.; SAUCIER, J. R. Influence of initial planting density, geographic location, and species on juvenile wood formation in southern pine. **Forest Products Journal,** v. 39, n. 7/8, p. 42-48, 1989.

COPANT – **Norma Panamericana,** Abril, 1972.

CORSON, S. R. Influence of wood quality characteristics on TMP and RMP from New Zealand-grown radiata pine. **Appita.** v. 37, n. 5, p. 400-408, 1984.

COWN, D. J. Wood density of radiata pine: its variation and manipulation. **New Zealand Journal of Forestry Science.** v. 19, p. 84-94, 1974.

COWN, D. J. Variation in tracheid dimensions in the stem of a 26 –year-old radiate pine tree. **Appita**. v.28, n.4, p. 237-245, 1975.

COWN, D. J. Corewood (Juvenile wood) in *Pinus radiata* – should we be concerned? **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 22, n. 1, p. 87-95, 1992.

COILE, T. S. Soil and the growth of forest. **Advances in Agronomy**. v. 4, p. 329-398, 1952.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: Análise multivariada e simulação**. Editora UFV. 175p., 2006.

DESCH H. E. **Timber: its structure and properties**. New York, Macmillan & Co, Ltd, 3^o edição, 1953, 350p.

DINWOODIE, J. M. The relationship between fiber morphology and paper properties: A review of literature. **Tappi Journal**. v. 48, n. 8, p. 440-446, 1965.

DONALDSON, L. A.; BURDON, R. D. Clonal variation and repeatability of microfibril angle in *Pinus radiata*. **New Zealand Journal of Forestry Science**. v. 25, n. 2, p. 164-174, 1995.

ERICKSON, H. D.; HARRISON A. T., Douglas-fir wood quality studies. Part 1 – Effects of age and stimulate growth on wood density and anatomy. **Wood Science Technology**. v. 8, p. 225-265, 1974.

EVANS II, J. W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, v. 50, n. 7/8, p. 75-87, 2000.

FAO. **Forestry takes on the climate change challenge - Global organizations team up to ensure contribution of forests**, 2008. Poznàn. Disponível em: <http://www.fao.org/news/story/en/item/8788/icode/> Acessado em 10/4/2009.

FOELKEL, E. **Poda, Desrama e Desbaste das Árvores de *Pinus* para Melhor Qualidade da Madeira** Mini-Artigo Técnico. Disponível em: http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_14.html#quatorze Acessado em: 03/04/2008

GARLIPP, R. The importance of planted forests in Brazil. **Sociedade Brasileira de Silvicultura**. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/secure/palestra-download.php>. Acesso em: 14/7/2009.

GATTO, D. A.; CALEGARI, L.; SANTINI, E. J.; DIEGO MARTINS, STANGERLIN R. T.; OLIVEIRA, L. S. Propriedades da madeira de *Pinus elliottii* engelm submetida a diferentes temperaturas de secagem. **Cerne**, v. 14, n. 3, p. 220-226, 2008.

GEIMER, R. L.; HERIAN, V. L.; XU, D. Influence of juvenile wood on dimensional stability and tensile properties of flakeboard. **Wood and Fiber Science**, v. 29, n. 2, p. 103-120, 1997.

GUIDINI, M. B.; NASCIMENTO, A. M.; BONE, R. B.; ALVES, T. W. Aplicação do *k-means cluster* para classificar estilos gerenciais **Revista Contemporânea de Economia e Gestão**. v.6, n.2, p. 25-34, 2008.

GOGGANS, J. F. The interplay of environment and heredity as factors controlling wood properties in conifers with special emphasis on their effects on specific gravity. **Raleigh: Technical Report n. 11**. North Carolina State University. 1961.

HAIR, J.; ANDERSON, R.; TATHAM, R. & BLACK, W. **Multivariate Data Analysis**. 5ª Edição. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1998.

HAIR, Jr., ANDERSON, J.F.; TATHAM R.E.; R.L.; BLACK, W.C. **Análise Multivariada de Dados**. 5 .ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HALLOCK, H. **Observations on forms of juvenile core in loblolly pine**. Madison: Research note FLP – 0188. USDA Forest Products Laboratory, 1968.

HARRIS, J. M. Note on wood density of *P. radiata* grown under temperature, sub tropical conditions. In: IUFRO WORKHOP, 1977, Brisbane. **Proceedings...**, Brisbane. [s.n.], 1977, p. 112-115.

HASSEGAWA, M. **Qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. de procedência da África do Sul**. 107f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais).- Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

JETT, J. B. & TALBERT, J. T. Place of wood specific gravity in the development of advanced - generation seed orchards and breeding programs. **Southern journal of applied forestry**, Washington, v. 6, n.3, 17780, 1982.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. Prentice-Hall International: New Jersey, 1992.

JONHSON, R. A., WIRCHEN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 2ª Edição. Prentice Hall International, 1998.

JUNIOR, G. B. **Estudo da qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. provenientes de árvores adultas atingidas por incêndio florestal.** Tese. (Doutorado em Ciências Florestais).- Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

KELLINSON, R. C. Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification. In: IUFRO WORLD CONGRESS, Kyoto. **Proceedings...** 1981, p. 77-87.

KIBBLEWHITE, R. P. *Pinus radiata*. Wood residue qualities and some utilization options. **New Zealand Journal of Forestry Science.** v. 14, n. 3, p. 382-392, 1984.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Shiede e *Pinus caribaea* Morelet var *hondurensis* Barr e Golf.** 143f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais).- Setor de Ciências Agrárias, apresentada a Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore.** 292f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais).- Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000.

K.M. BHAT; P.B. PRIYA Influence of provenance variation on wood properties of teak from the western ghat region in India. **IAWA Journal.** v. 25, n. 3, p. 273–282, 2004.

KOLLMANN, F. F. P. **Tecnologia de la madera y sus aplicaciones.** Gráficas Reunidas AS, Hermsilla 110, Madrid, Espanha, 1950.

KOLLMANN, F. **Tecnologia de la madera y sus aplicaciones.** Gráficas Reunidas AS, Espanha, 1959.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JÚNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology.** Berlin: Springer, v. 2, 1968. 674 p.

LARSON, P. R.; NICHOLS, J. W. P.; DADSWELL, H. E. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines:** Madison: USDA, 2001. 42 p.

LATORRACA, J.V.F., ALBUQUERQUE, C.E.C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Revista Floresta e Ambiente.** v. 7, n. 1, p. 279-291, jan/dez 2000.

LAVORANTI, O. J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da amostragem “boostshop” no modelo AMMI**. Piracicaba, 2003. 166p. Tese (Doutorado em Estatística). Universidade de São Paulo.

LOO, J.A.; TAUER, C.G.; MCNEW, R.W. Genetic variation in the time of transition from juvenile to mature wood in loblolly pine (*Pinus taeda*, L.) **Silvae Genetica**. v. 34 n. 1, p. 14-19, 1985.

LOPES, M. C. **Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira**. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2003.

LOPES, M. C.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; ROSSO, S.; FERNANDES, D. L. G.; MENESES, L; F. Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira. **Ciência Florestal**. v. 14, n. 2, p. 133-144, 2004.

LUCAS FILHO, F.C. **Estudo da influência do teor de umidade e da massa específica aparente sobre a resitência das madeiras de *Pinus elliottii* Var. *elliottii* Elgem. e *Pinus taeda* L.** 101p. Dissertação (Mestrado Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MARDIA, K. V.; KENT, J. T.; BIBBY, J. M. **Multivariate Analysis**. London: Academic Press, 1979.

MARTINS, R. M.; PINHO, S. Z.; GONÇALVES, S. L. Utilização da técnica hierárquica aglomerativa pelo método do vizinho mais próximo do risco de geada no estado do paraná para a cultura do milho safrinha. **Revista Energia na Agricultura** v. 23, n.3, p.95-107, 2008.

MATZIRIS, D. I. & ZOBEL, B. J. Inheritance and correlations of juvenile characteristics in loblolly pine (*Pinus taeda* L.). **Silvae genética**, Frankfurt, v. 22 n.1/2, p. 38-45,1973.

MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 117f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MATTOS P. P.; BOTOSSO, P. C.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; MARTINS, M. G. Coleta de Amostras para Estudos da Influência de Tratos Silviculturais na Qualidade da Madeira. **EMBRAPA**. Comunicado técnico n. 91, 2003.

MENDONÇA, M. A. **Características da madeira de *Pinus elliottii* com diferentes idades e propriedades do papel.** 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1982.

McALISTER, R.; CLARK, A. Effect of geographic location and seed source on the bending properties of juvenile and mature Loblolly Pine. **Forest Products Journal**, v. 41, n. 9, p. 39-41, 1991.

McALISTER, R.; CLARK, A. Shrinkage of juvenile and mature wood loblolly pine from three locations. **Forest Products Journal**, v. 42, n. 7-8, p. 25-28, 1992.

McALISTER, R.; CLARK, A.; SAUCIER, J. Effect of initial spacing on mechanical properties of lumber sawn from unthinned Slash Pine at age 40. **Forest Products Journal**, v. 47, n. 7-8, p. 107-109, 1997.

MORA, A. B.; MARQUEA, L. E. G.; MIGLIORINI, A. J.; SANSIGOLO, C. A. Variação genética para densidade da madeira em progênies de *E. grandis*. In: Congresso Florestal Brasileiro, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...**São Paulo: SBS, 1983. P. 318-324.

MORAES, M. L. T. **Variação genética da densidade básica da madeira em progênies de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e suas relações com as características de crescimento.** 115p. Mestrado - ESALQ/USP, Piracicaba, 1987.

MUÑIZ, G. I. B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda*.** 235f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1993.

NASCIMENTO, C. S. **Estudo dos algoritmos de agrupamentos aplicados a frames de vídeo.** Monografia. Universidade Federal da Bahia, Instituto de Matemática. Salvador, 2009.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; REIS, G. G.; MOREIRA, A. M. Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**. v. 32, n. 5, p. 855-860, 2008.

NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** 160f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

PALMA, H. A. L.; BALLARIN, A. W. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**. v.27, n.3, p. 371-380, 2003.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1970. 705 p.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology: structure, identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada**. 4^o ed. New York: McGraw-Hill Book, 1980. 722p.

PARKER, H. **Simplified design of structural timber**. New York, John Wiley, 2^o Edição, 1963, 265p.

PEARSON, N. C.; GILMORE, R. C. Characterization of the strength of juvenile wood of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). **Forest Products Journal**. Madison, v. 21, n. 1, p.23-31, 1971.

PEARSON, R. G.; ROSS, B. E. Growth rate and bending properties of selected Loblolly Pines. **Wood and Fiber Science**, n. 16, p. 37-47, 1984.

PEARSON, R. G. Compressive properties of clear and knotty Loblolly Pine juvenile wood. **Forest Products Journal**, v. 38, n. 7/8, p. 15-22, 1988.

POT, D.; RODRIGUES, J. C.; ROZENBERG, P.; CHANTRE, G.; TIBBITS, J.; CAHALAN, C.; PICHAVANT, F.; PLOMION, C. QTLs and candidate genes for wood properties in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). **Tree Genetics & Genomes**. v.2, p. 10-24, 2006.

PUEHRINGER, C. A. **Uso de emissão de ondas de tensão para avaliação não destrutiva de árvores e da madeira de *Pinus taeda* L.** 104f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.

Revista Lignum – Entrevista: Sr. Antônio R. Camiotti (Presidente da ABIMCI). E-mail recebido em 29/10/2008.

RIGATTO, P. A. **Influência dos atributos do solo sobre a produtividade e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft.** 120f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.

RODRIGUES, E. A. C., ROSADO, S. C. S., TRUGILHO, F. P., SANTOS, A. M. Seleção de clones de *Eucalyptus* para as propriedades físicas da madeira avaliadas em árvores no campo. **Cerne**. v.14, n.2, p. 147-152, 2008.

ROMESBURG H. C. **Cluster Analysis for Researchers**. Lulu Press: North Carolina, 2004.

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. Characterization and factors affecting fiber properties. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A. L.; MATTOSO, L. H. C. (Eds). **Natural polymers and agrofibers composites**: São Carlos: IQSC, USP, 2000. p. 115-133.

SAMPAIO, P. T. B.; RESENDE, M. D. V.; ARAÚJO, A. J. Estimativas de parâmetros genéticos e métodos de seleção para o melhoramento genético de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.11, p.2243-2253, 2000.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. **Metodologia da Pesquisa**. 3ª ed. São Paulo: MC Graw-Hill, 2006, 608p.

SANTOS, P. E. T.; SCANAVACA JR. L.; FERREIRA, M. Subsídios para aplicação do melhoramento genético visando a qualidade da madeira de *Pinus*. **Série Técnica IPEF**, v.9, n.27, p.1-29, 1993.

SCHULSTZ, R. P. **Loblolly pine – the ecology and culture of loblolly pine (*Pinus taeda* L.)** USDA Forest Service. Agricultural Handbook 713, 1997. 514p.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Universidade Federal de Lavras/Fundação de Apoio ao Ensino Pesquisa e Extensão Lavras, 1997. 433p.:il.

SIAU, J. F. **Transport process in wood**. New York: Spring-Verlag, 245p., 1984.

SILVA, J. C. **Parâmetros da densidade na qualidade da madeira**. Piracicaba, ESALQ/Departamento de Ciências Florestais, 1984. 82p.

SILVA, J. C. Qualidade da madeira serrada de eucalipto. **Revista da Madeira**, v.9, n.50, 2000. p. 44-46.

SILVA, N. V.; PADOVANI, C. R. Utilização de componentes principais em experimentação agrônômica. **Revista Energia na Agricultura**. v. 21, n. 4, p. 98-113, 2006.

SIMIONI, F. J. Caracterização das propriedades físicas e porcentagem de lenho tardio da madeira do gênero *Pinus* plantadas na região de Amures. In: II congresso Ibero-americano, 2002. **Anais...** FUPER-UFPR, 2002. p.20.

SHIMIZU, J.Y.; MEDRADO, M. J. S. **Cultivo do *Pinus***. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/index.htm>. Acessado em 18/10/2006.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado**. 151f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

SOUZA, R.C. Efeito da idade e da posição radial na densidade básica e nas dimensões dos traqueídeos da madeira de *Pinus taeda* L. **Revista do Instituto florestal de São Paulo**. v. 2, n. 2, p. 119-127, 2007. Disponível em: http://www.iflorestal.sp.gov.br/publicacoes/revista_if/rev192pdf/Pinus%20taeda%20119-127.pdf. Acesso em: 14/04/2009.

SPURR S. H.; HYVARINEN M. J. Wood Fiber length as related to position in tree and growth. **The Botanical**. v.9, n. 20, p. 561-575, 1954.

STATGRAPHICS® Centurion XVI **User Manual**. by StatPoint Technologies, Inc. 2009.

SZÜCS, C. A.; TEREZO, R. F.; VALLE, A.; MORAES, P. D. **Estruturas de Madeira**. Universidade Federal de Santa Catarina - Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2006.

TOMASELLI, I. **Estudos da densidade básica e dimensões de traqueóides de povoamentos de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia***. Relatório Técnico. FUPEF-BRASKRAF. Curitiba 1979. 70p.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e estrutura anatômica da madeira de *E. saligna* e *E. grandis*. **IPEF**. v. 29, p. 37-45, 1985.

TRENDELENBURG, R.; MAYER, W. H. **Das Holz als Rohstoff**. Munchen: C. Hanser. Verlag, 541p, 1956.

TSOUMIS, G. T. Science and technology of wood: structure, properties, utilization New York, **Chapman & Hall**, 1991, 494p.

USDA. ***Pinus taeda*: Lobloly Pine**. Centro de Pesquisa de Anatomia da Madeira - 2000 USDA Forest Service Disponível em: <http://www2.fpl.fs.fed.us/TeschSheets/> Acessado em 13/03/2009

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C. M.; VEIGA, R. A. A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **CERNE**. v.6, n.1, p.083-088, 2000.

VILLELA FILHO, A. **Produção integrada florestas mercado**. In: III SIMADER. Seminário sobre processamento e Utilização de Madeiras de Reflorestamento. Curitiba, 13 e 14 de abril, 1994, p. 59 – 69.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito do espaçamento na produção em peso e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* aos 52 meses de idade. **Revista Árvore**. v. 11, n. 2, p. 132-145, 1987.

WEBER, E. M. **Caracterización física y mecânica de *Pinus taeda* origem Marion em plantaciones de diferentes edades y determinacion de usos potenciales, Misiones, Argentina**. Tesis (Maestría en Ciências de la Madera, Celulosa y Papel) Universidad Nacional de Misiones - Facultad de Ciencias Forestales, Misiones 2005.

WNGAARD, F. F. **The mechanical properties of wood**. London: Chapman & Hall, 1950. 337p.

WOOD HANDBOOK, **Wood HandBook: Wood as an Engineering Material**. Forest Product Society. USA,1999.

YANG, K. C.; HAZENBERG, G. Impact of spacing on tracheid length, relative density, and growth rate of juvenile wood and mature wood in *Picea mariana*. **Canadian Journal Research**, v. 24, p. 996-1007, 1994.

ZOBEL, B. J. & KELLISON, R. C. Should wood be included in a pine tree improvement programme? In: BURLEY, J. & NIKLES, D. G. **Selection and breeding to improve some tropical conifers**. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1973. p. 4-12.

ZOBEL, B. Wood quality from fast-grown plantations. **Tappi**. v. 64, n. 1, p.71-74, 1981.

ZOBEL, B. J. The changing quality of the world wood supply. **Wood Science Technology**, n. 18, p. 1-17, 1984.

ZOBEL, B. J. & TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York, John Wiley, 1984. 505p.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin, Springer-Verlag, 1989. 361 p.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. **Genetics of wood production**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 337 p.

ZOBEL, B. Silvicultural Effects On Wood Properties. North Carolina State University Raleigh, CA / USA **IPEF INTERNATIONAL**, n. 2, p. 31-38, 1992.

8 APÊNDICES

8.1 Estatística descritiva das famílias

TABELA 20. CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS MÉDIAS DAS FAMILIAS

FAM ³	H _{com} ¹			DAP ²		
	MÉDIA ⁴	DP ⁵	CV ⁶	MÉDIA ⁴	DP ⁵	CV ⁶
1	10,49	0,80	7,65	20,98	3,41	16,26
2	10,78	0,73	6,80	21,46	2,56	11,94
3	10,62	0,65	6,14	23,06	1,88	8,15
4	10,03	0,85	8,50	21,91	1,63	7,44
5	10,34	0,75	7,29	22,32	1,63	7,28
6	10,41	0,75	7,24	21,53	1,36	6,33
7	10,08	0,95	9,45	19,78	0,98	4,98
8	10,01	0,99	9,85	21,88	2,21	10,08
9	10,30	1,01	9,81	20,51	1,35	6,57
10	10,48	1,21	11,52	22,61	2,46	10,86
11	9,73	0,94	9,67	20,86	3,05	14,61
12	9,41	0,43	4,58	21,05	1,65	7,83
13	9,92	1,51	15,18	21,56	1,19	5,52
14	10,19	1,43	14,00	21,75	2,29	10,53
15	9,40	0,97	10,29	20,38	1,81	8,86
16	10,28	1,31	12,78	22,61	1,21	5,36
17	9,54	1,16	12,12	21,50	2,38	11,06
18	9,12	1,75	19,14	19,97	1,44	7,21
19	10,64	0,95	8,96	23,41	2,97	12,69
20	9,97	1,77	17,80	20,96	2,02	9,65
21	9,58	0,95	9,96	19,90	1,88	9,47
22	10,34	0,92	8,91	21,53	2,99	13,89
23	10,44	0,38	3,62	20,61	1,88	9,14
24	8,53	1,22	14,26	16,97	1,81	10,67
25	9,36	1,14	12,22	19,55	0,57	2,90
26	9,00	0,78	8,71	20,74	3,33	16,08
27	9,46	0,43	4,58	20,48	1,26	6,16
28	10,48	1,09	10,44	22,01	2,21	10,04
29	9,97	1,70	17,03	21,85	2,61	11,93
30	10,03	1,38	13,80	21,66	1,67	7,69

31	9,22	0,74	8,02	19,24	1,00	5,18
32	9,36	0,63	6,73	20,38	0,68	3,31
33	9,83	0,99	10,06	19,52	0,73	3,72
34	9,36	0,99	10,62	19,01	2,48	13,05
35	8,62	2,26	26,17	18,18	4,30	23,65
36	11,04	0,83	7,51	21,56	1,04	4,83
37	10,22	0,89	8,74	22,61	1,01	4,45
38	9,73	1,39	14,29	22,74	2,68	11,78
39	9,56	1,28	13,41	20,96	2,45	11,69
40	9,80	0,62	6,29	21,11	1,10	5,21
41	9,74	0,75	7,70	20,48	1,80	8,79
42	9,79	0,78	8,00	20,51	1,02	4,98
43	9,00	1,83	20,31	19,20	3,02	15,75
44	9,25	1,56	16,88	19,98	2,54	12,72
45	8,87	0,72	8,13	19,39	1,97	10,16
46	9,50	1,46	15,34	20,92	1,97	9,44
47	9,83	1,58	16,06	22,13	2,46	11,12
48	8,25	1,65	20,01	17,10	2,30	13,42
49	9,30	1,86	20,00	20,64	0,89	4,32
50	9,41	1,80	19,13	19,11	1,13	5,93
51	9,61	0,37	3,88	20,35	1,18	5,81
52	9,27	0,91	9,81	20,48	2,07	10,13
53	9,75	1,52	15,56	18,95	0,99	5,23
54	9,50	1,65	17,40	19,55	0,81	4,13
55	9,70	1,21	12,50	20,86	3,07	14,72
56	9,76	1,85	18,92	20,57	1,81	8,80
57	9,22	0,50	5,44	20,54	2,04	9,91
58	9,08	1,82	20,06	20,64	2,18	10,55
59	9,39	0,99	10,53	20,80	1,27	6,09
60	9,05	2,13	23,54	20,57	1,91	9,26
61	8,71	0,89	10,24	18,73	1,68	8,95
62	9,51	0,89	9,35	19,97	2,12	10,63
63	9,07	1,13	12,47	20,57	1,66	8,09
64	9,04	0,18	2,01	18,69	1,46	7,80
65	9,35	1,14	12,18	18,79	2,22	11,80
66	8,88	0,77	8,65	20,06	2,62	13,05
67	9,72	2,06	21,18	20,70	2,57	12,39
68	11,00	1,41	12,84	20,29	1,61	7,92
69	9,57	1,33	13,93	20,51	1,03	5,01
70	10,60	1,32	12,43	23,09	0,71	3,08
71	9,05	1,10	12,14	20,76	1,64	7,91
72	8,59	1,17	13,59	18,09	3,06	16,91
73	9,49	2,01	21,22	19,65	1,97	10,02
74	10,65	0,44	4,13	21,85	2,16	9,91

75	10,24	1,48	14,49	21,11	2,86	13,54
76	9,86	1,44	14,66	21,15	1,88	8,90
77	10,17	0,88	8,70	21,66	3,86	17,82
78	9,96	0,43	4,29	20,22	1,41	6,98
79	10,20	0,63	6,20	23,79	1,32	5,55
80	10,26	2,34	22,81	21,43	1,99	9,27
81	10,09	1,70	16,87	20,14	2,86	14,22
82	9,83	0,99	10,05	19,71	1,39	7,05
83	9,78	1,07	10,97	21,46	1,20	5,61
84	9,01	0,69	7,61	18,38	2,03	11,02
85	9,39	1,57	16,68	20,41	1,63	7,96
86	10,05	1,13	11,24	22,26	1,45	6,52
87	8,92	1,50	16,77	20,86	2,01	9,66
88	10,99	0,80	7,31	22,23	2,22	10,00
89	9,80	1,92	19,59	23,25	1,90	8,16
90	9,88	0,75	7,62	19,11	2,98	15,59
91	10,50	1,14	10,82	21,91	2,31	10,56
92	10,04	1,09	10,86	21,05	6,43	30,56
93	9,74	1,51	15,53	20,61	3,28	15,91
94	10,18	1,02	10,03	24,01	1,68	6,99
95	9,95	0,48	4,82	21,11	1,72	8,13
96	6,84	1,28	18,65	16,15	1,95	12,05
97	10,06	1,52	15,07	21,75	3,43	15,76
98	10,56	0,95	9,02	22,20	2,35	10,59
99	9,12	2,03	22,24	20,06	2,64	13,14
100	10,28	0,44	4,26	21,85	1,82	8,32
101	10,84	0,85	7,81	23,66	1,37	5,78
102	10,70	0,95	8,88	22,07	2,28	10,33
103	9,82	1,08	11,02	19,55	2,67	13,66
104	10,39	1,69	16,24	23,31	2,45	10,51
105	8,74	1,56	17,87	18,66	2,60	13,95
106	9,56	1,46	15,27	19,65	2,50	12,73
107	9,38	1,29	13,74	19,75	3,53	17,90
108	10,34	0,70	6,79	21,46	1,71	7,96
109	9,39	0,37	3,99	20,29	1,49	7,35
110	9,32	0,37	3,96	21,72	1,95	8,99
111	9,72	1,38	14,15	19,84	1,73	8,71
112	8,54	0,90	10,53	17,87	1,25	6,97
113	9,40	1,40	14,93	20,38	3,34	16,39
114	9,42	1,33	14,15	20,96	3,83	18,28
115	11,10	0,93	8,38	22,52	2,07	9,20
116	10,56	1,07	10,12	21,18	1,84	8,67
117	9,74	0,91	9,37	20,80	3,05	14,67
118	11,10	0,47	4,23	24,66	2,53	10,25

119	10,51	0,95	9,04	21,24	1,79	8,44
120	7,30	0,65	8,93	15,10	0,68	4,50
MG ⁷	9,73	1,13	11,72	20,73	2,04	9,90
DP ⁸	0,71			1,55		
CV ⁹	7,27			7,47		

NOTA: H_{com}¹ = altura comercial (m); DAP² = diâmetro a altura o peito (cm); FAM³ = grupos de famílias avaliados; MÉDIA⁴ = média da família; DP⁵ = desvio padrão dentro da família; CV⁶ = coeficiente de variação da família (%); MG⁷ = média geral das famílias; DP⁸ = desvio padrão entre as famílias; CV⁹ = coeficiente de variação das famílias

FONTE: O autor (2009)

TABELA 21. MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA AS FAMILIAS

FAM ¹	MEB ²	DP ³	CV ⁴
1	375,820	12,90	3,43
2	374,148	22,30	5,96
3	376,354	22,04	5,86
4	372,963	17,86	4,79
5	398,839	36,17	9,07
6	389,306	25,65	6,59
7	398,941	26,37	6,61
8	371,395	11,87	3,19
9	382,658	15,67	4,09
10	375,011	13,79	3,68
11	425,037	26,01	6,12
12	371,057	9,52	2,57
13	382,517	20,93	5,47
14	393,862	26,74	6,79
15	369,476	39,08	10,58
16	378,723	24,79	6,55
17	383,016	23,80	6,21
18	377,302	14,86	3,94
19	358,352	18,17	5,07
20	385,486	31,55	8,19
21	362,615	36,44	10,05
22	361,081	22,82	6,32
23	404,462	25,38	6,28
24	416,800	42,54	10,21
25	402,497	26,63	6,62
26	391,662	26,76	6,83
27	391,243	45,98	11,75
28	395,557	17,75	4,49
29	368,464	33,68	9,14
30	361,476	31,00	8,58
31	396,437	21,45	5,41
32	401,763	40,46	10,07
33	382,715	28,69	7,50
34	379,475	30,23	7,97
35	412,830	22,16	5,37
36	372,258	24,45	6,57
37	372,477	45,32	12,17
38	397,120	35,87	9,03
39	382,070	37,48	9,81
40	368,102	32,41	8,80
41	383,355	12,69	3,31
42	389,658	19,41	4,98
43	394,880	23,69	6,00
44	392,430	31,85	8,11
45	371,463	31,34	8,44
46	382,907	36,72	9,59
47	385,918	37,07	9,61
48	409,123	26,75	6,54
49	393,704	15,39	3,91

50	407,185	58,13	14,28
51	388,038	41,44	10,68
52	407,793	30,21	7,41
53	400,579	23,04	5,75
54	401,149	11,20	2,79
55	394,615	29,44	7,46
56	393,867	17,96	4,56
57	378,370	42,65	11,27
58	378,051	17,83	4,72
59	392,605	29,71	7,57
60	377,343	24,03	6,37
61	388,424	29,61	7,62
62	390,660	24,42	6,25
63	382,936	21,63	5,65
64	420,501	14,04	3,34
65	384,046	50,43	13,13
66	367,782	25,46	6,92
67	364,815	31,90	8,74
68	401,594	25,20	6,28
69	390,171	30,65	7,86
70	362,470	25,67	7,08
71	391,332	32,35	8,27
72	400,603	35,60	8,89
73	380,869	19,87	5,22
74	377,499	18,96	5,02
75	409,125	28,09	6,87
76	367,980	17,92	4,87
77	401,293	22,91	5,71
78	394,114	13,25	3,36
79	385,541	32,51	8,43
80	383,538	27,68	7,22
81	380,744	14,30	3,76
82	403,307	37,57	9,32
83	395,782	15,70	3,97
84	381,221	22,75	5,97
85	383,314	16,54	4,32
86	405,699	22,27	5,49
87	386,358	40,94	10,60
88	406,406	30,47	7,50
89	426,794	21,12	4,95
90	417,849	30,56	7,31
91	370,408	30,58	8,26
92	396,029	16,71	4,22
93	369,807	36,04	9,74
94	351,679	12,27	3,49
95	378,742	20,88	5,51
96	397,394	23,39	5,89
97	371,305	31,66	8,53
98	381,407	19,45	5,10
99	394,471	14,30	3,62
100	403,195	13,70	3,40
101	359,796	25,22	7,01
102	398,752	16,91	4,24
103	401,625	23,26	5,79

104	371,176	21,99	5,92
105	390,333	15,43	3,95
106	399,364	18,91	4,73
107	404,276	33,52	8,29
108	402,525	29,13	7,24
109	386,517	18,84	4,87
110	378,499	25,78	6,81
111	382,034	22,40	5,86
112	405,693	23,74	5,85
113	410,500	22,88	5,57
114	398,447	37,27	9,35
115	400,659	31,93	7,97
116	373,380	23,27	6,23
117	387,352	29,78	7,69
118	374,209	22,34	5,97
119	402,920	14,04	3,48
120	403,591	49,91	12,37
MG⁵	388,03	26,12	6,73
DP⁶	15,18		
CV⁷	3,91		

NOTA: FAM¹ = grupos de famílias avaliados; MEB² = media da família (kg/m³); DP³ = desvio padrão dentro da família; CV⁴ = coeficiente de variação da família (%); MG⁵ = média geral das famílias; DP⁶ = desvio padrão entre as famílias; CV⁷ = coeficiente de variação das famílias (%)

FONTE: O autor (2009)

TABELA 22. VALORES DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE *PINUS TAEDA*

FAM ⁴	ME _{AP}								
	ME _{verde} ¹			ME _{clim} ²			ME _{0%} ³		
	MEDIA ⁵	DP ⁶	CV ⁷	MEDIA ⁵	DP ⁶	CV ⁷	MEDIA ⁵	DP ⁶	CV ⁷
1	610,76	246,74	40,40	396,31	56,24	14,19	362,54	55,45	15,29
2	611,34	169,92	27,79	414,82	39,99	9,64	379,43	39,55	10,42
3	512,56	37,13	7,24	401,23	40,31	10,05	365,36	36,01	9,86
4	532,20	78,75	14,80	395,29	23,72	6,00	359,89	22,64	6,29
5	683,61	144,55	21,15	454,69	36,13	7,95	418,55	33,96	8,11
6	528,51	31,11	5,89	423,24	15,88	3,75	382,91	16,28	4,25
7	602,88	73,76	12,23	410,70	17,56	4,28	376,04	17,10	4,55
8	589,31	89,90	15,25	438,54	44,36	10,11	403,07	41,03	10,18
9	540,28	65,10	12,05	402,73	32,68	8,11	368,74	31,86	8,64
10	608,19	113,69	18,69	398,67	34,83	8,74	365,19	27,59	7,56
11	617,63	143,25	23,19	461,67	42,03	9,10	434,10	40,34	9,29
12	657,95	128,13	19,47	385,28	56,38	14,63	350,64	52,31	14,92
13	567,98	150,32	26,47	420,40	56,54	13,45	393,35	62,05	15,77
14	615,12	179,11	29,12	419,76	37,61	8,96	385,17	35,59	9,24
15	623,64	135,97	21,80	415,74	25,88	6,23	380,18	24,31	6,40
16	631,19	99,19	15,71	408,87	39,15	9,57	375,54	36,10	9,61
17	631,57	114,88	18,19	422,18	34,25	8,11	383,37	36,22	9,45
18	602,64	160,50	26,63	387,73	25,80	6,66	362,12	41,29	11,40
19	623,07	170,98	27,44	398,41	42,84	10,75	362,45	40,24	11,10
20	566,98	152,71	26,93	439,37	36,09	8,21	403,36	36,52	9,05
21	452,61	73,39	16,21	398,01	73,09	18,36	363,59	68,04	18,71
22	613,69	149,67	24,39	389,18	58,86	15,13	356,58	55,87	15,67
23	576,20	71,46	12,40	427,77	33,14	7,75	391,94	31,61	8,07
24	624,45	25,57	4,09	522,30	91,32	17,48	483,38	89,08	18,43
25	567,69	174,05	30,66	431,63	57,45	13,31	396,47	53,11	13,40
26	659,04	121,97	18,51	424,51	56,42	13,29	389,37	55,20	14,18
27	672,16	90,07	13,40	435,77	62,30	14,30	398,88	58,48	14,66
28	611,60	187,38	30,64	430,59	28,52	6,62	394,86	27,90	7,07
29	636,38	183,31	28,81	411,13	22,23	5,41	376,16	23,50	6,25
30	538,98	116,93	21,70	401,09	31,15	7,77	367,19	29,55	8,05
31	654,65	117,48	17,95	444,44	18,44	4,15	404,34	15,65	3,87
32	699,94	81,99	11,71	431,60	11,03	2,56	394,29	10,65	2,70
33	520,22	79,05	15,20	400,69	64,74	16,16	360,26	65,50	18,18
34	625,24	106,74	17,07	425,76	32,97	7,74	390,60	32,04	8,20
35	551,95	37,00	6,70	430,80	23,87	5,54	413,22	23,89	5,78
36	547,83	105,63	19,28	387,39	23,57	6,08	354,38	23,09	6,52
37	611,96	135,18	22,09	426,34	87,37	20,49	383,25	58,75	15,33
38	629,96	144,61	22,96	466,23	77,27	16,57	414,86	77,48	18,68
39	539,67	83,83	15,53	420,06	69,98	16,66	385,46	66,29	17,20

40	655,29	122,07	18,63	423,93	37,15	8,76	387,94	35,97	9,27
41	531,71	49,97	9,40	397,10	41,51	10,45	362,72	39,00	10,75
42	598,23	143,89	24,05	423,31	45,25	10,69	387,54	42,06	10,85
43	570,69	150,73	26,41	418,42	28,00	6,70	376,69	21,21	5,63
44	573,16	148,29	25,87	426,92	40,80	9,56	385,42	29,53	7,66
45	522,23	123,98	23,74	412,91	62,13	15,05	378,41	58,48	15,45
46	669,16	197,84	29,57	405,06	27,78	6,86	370,57	26,97	7,28
47	609,10	130,52	21,43	415,76	50,62	12,18	393,87	22,08	5,61
48	589,37	121,62	20,64	429,45	51,84	12,07	392,79	49,27	12,54
49	470,25	21,71	4,62	409,75	18,34	4,48	375,92	16,81	4,47
50	588,81	91,38	15,52	456,21	85,86	18,82	416,84	84,50	20,27
51	608,70	147,89	24,30	400,06	29,30	7,32	365,74	29,67	8,11
52	591,14	128,79	21,79	429,38	25,57	5,95	393,47	24,57	6,24
53	558,46	91,88	16,45	455,75	83,18	18,25	415,57	74,56	17,94
54	602,91	177,69	29,47	419,17	39,24	9,36	382,98	36,42	9,51
55	653,41	135,28	20,70	438,36	59,56	13,59	401,64	57,25	14,25
56	434,28	11,87	2,73	401,03	16,20	4,04	367,40	15,98	4,35
57	563,87	133,76	23,72	402,40	25,71	6,39	367,88	24,08	6,55
58	519,92	82,05	15,78	386,16	34,48	8,93	351,97	31,40	8,92
59	566,52	17,72	3,13	411,80	42,55	10,33	376,91	41,22	10,94
60	595,69	128,68	21,60	428,27	61,27	14,31	390,51	57,31	14,67
61	587,04	102,56	17,47	435,50	37,10	8,52	400,15	35,23	8,80
62	467,15	40,99	8,78	399,81	26,49	6,63	365,51	24,20	6,62
63	549,75	88,31	16,06	403,39	24,36	6,04	367,05	22,00	5,99
64	563,64	147,41	26,15	432,42	19,65	4,54	395,58	18,81	4,75
65	614,58	147,96	24,08	384,30	47,02	12,24	350,46	43,14	12,31
66	657,41	120,50	18,33	406,78	39,02	9,59	372,45	38,43	10,32
67	615,60	148,00	24,04	411,17	13,72	3,34	366,02	21,65	5,91
68	626,63	133,45	21,30	422,28	24,43	5,78	383,99	30,51	7,94
69	532,97	127,72	23,96	395,42	38,12	9,64	359,74	36,69	10,20
70	743,53	69,81	9,39	402,41	28,95	7,19	367,26	27,62	7,52
71	636,68	119,66	18,79	445,92	42,74	9,58	407,97	39,77	9,75
72	638,22	73,56	11,53	442,40	42,79	9,67	404,63	39,98	9,88
73	638,90	200,03	31,31	409,18	43,59	10,65	372,84	39,53	10,60
74	615,26	205,48	33,40	415,86	18,85	4,53	372,67	23,11	6,20
75	687,62	115,27	16,76	447,06	37,84	8,46	410,21	35,27	8,60
76	570,13	156,07	27,37	394,37	29,76	7,55	359,83	28,62	7,95
77	597,58	148,96	24,93	436,41	80,83	18,52	398,45	73,54	18,46
78	572,03	114,18	19,96	426,42	16,39	3,84	391,60	15,75	4,02
79	535,59	39,70	7,41	443,82	26,15	5,89	408,75	25,35	6,20
80	579,91	119,18	20,55	401,19	32,94	8,21	356,68	22,01	6,17
81	654,64	158,08	24,15	409,32	55,89	13,65	374,69	53,09	14,17
82	610,07	107,76	17,66	452,86	47,61	10,51	412,71	41,73	10,11
83	582,78	134,58	23,09	435,10	40,84	9,39	401,83	34,67	8,63
84	531,83	74,14	13,94	400,42	20,84	5,20	367,32	19,56	5,33
85	491,08	46,21	9,41	404,98	32,39	8,00	370,14	30,42	8,22

86	619,38	159,75	25,79	433,51	60,86	14,04	396,15	58,04	14,65
87	579,71	152,15	26,25	424,36	44,05	10,38	388,84	42,67	10,97
88	633,44	82,42	13,01	441,03	22,19	5,03	399,73	18,21	4,56
89	601,43	69,03	11,48	419,41	24,74	5,90	385,58	22,99	5,96
90	543,70	98,12	18,05	430,05	59,84	13,92	393,01	58,65	14,92
91	515,48	108,23	21,00	410,35	15,68	3,82	375,92	15,44	4,11
92	513,55	33,28	6,48	412,94	51,24	12,41	377,46	49,00	12,98
93	565,95	100,91	17,83	426,07	18,03	4,23	388,49	17,00	4,37
94	484,36	56,92	11,75	391,16	21,07	5,39	352,04	20,28	5,76
95	555,50	102,75	18,49	403,64	42,11	10,43	370,45	40,08	10,82
96	523,53	126,15	24,10	412,66	57,51	13,94	377,43	55,42	14,68
97	577,76	180,98	31,33	403,64	42,11	10,43	370,45	40,08	10,82
98	608,87	113,18	18,59	420,53	29,88	7,11	383,87	27,50	7,16
99	541,42	48,57	8,97	414,45	31,76	7,66	377,97	29,30	7,75
100	617,57	95,04	15,39	438,22	17,12	3,91	401,66	14,61	3,64
101	594,72	165,41	27,81	395,64	17,58	4,44	361,24	17,33	4,80
102	578,89	79,03	13,65	434,83	26,51	6,10	397,65	25,13	6,32
103	558,60	20,80	3,72	429,12	59,54	13,87	393,23	57,65	14,66
104	578,05	129,35	22,38	398,69	16,61	4,17	364,30	14,11	3,87
105	663,58	126,17	19,01	427,34	22,54	5,27	391,57	22,80	5,82
106	650,70	123,09	18,92	427,09	41,60	9,74	386,48	43,57	11,27
107	566,19	85,80	15,15	418,35	47,42	11,34	382,39	45,37	11,86
108	525,22	64,74	12,33	434,66	22,55	5,19	399,80	19,95	4,99
109	579,29	73,51	12,69	405,56	30,91	7,62	371,11	28,72	7,74
110	633,02	166,50	26,30	424,27	34,24	8,07	387,68	32,82	8,47
111	638,53	175,58	27,50	423,30	15,22	3,60	387,93	13,97	3,60
112	533,87	126,94	23,78	431,38	19,11	4,43	393,94	17,97	4,56
113	526,89	85,35	16,20	400,98	48,14	12,01	366,28	44,90	12,26
114	606,23	82,56	13,62	423,61	39,65	9,36	387,61	39,36	10,15
115	584,75	162,70	27,82	447,90	34,47	7,70	412,31	36,34	8,81
116	605,55	65,10	10,75	418,03	34,67	8,29	383,18	32,57	8,50
117	606,79	161,50	26,62	393,47	51,23	13,02	360,81	47,70	13,22
118	578,28	204,15	35,30	388,53	39,26	10,10	354,55	36,72	10,36
119	588,87	71,50	12,14	424,94	18,53	4,36	386,92	18,33	4,74
120	479,24	66,04	13,78	429,60	63,29	14,73	392,18	58,05	14,80
MG⁸	587,13	113,69	19,14	419,02	38,83	9,24	383,22	36,62	9,53
DP⁹	53,83			20,81			19,97		
CV¹⁰	9,15			4,97			5,21		

NOTA: ME_{verde}¹ = massa específica verde (kg/m³); ME_{clim}² = massa específica climatizada (kg/m³); ME_{0%}³ = a específica seca a 0% (kg/m³); FAM⁴ = grupos de famílias avaliados; MEDIA⁵ = média da família; DP⁶ = desvio padrão dentro da família; CV⁷ = coeficiente de variação da família (%); MG⁸ = média geral das famílias; DP⁹ = desvio padrão entre as famílias; CV¹⁰ = coeficiente de variação das famílias (%).

FONTE: O autor (2009)

TABELA 23. COEFICIENTES DE CONTRAÇÃO LINEAR MÁXIMA

FAM ⁵	β_{vol}^1			β_{tang}^2			β_{rad}^3			β_{long}^4		
	MÉDIA ⁶	DP ⁷	CV ⁸	MÉDIA ⁶	DP ⁷	CV ⁸	MÉDIA ⁶	DP ⁷	CV ⁸	MÉDIA ⁶	DP ⁷	CV ⁸
1	8,35	1,59	19,08	5,59	1,24	22,15	2,44	0,56	22,75	0,39	0,29	73,31
2	9,49	0,90	9,47	6,54	0,73	11,23	3,03	0,40	13,10	0,16	0,10	61,51
3	8,90	1,14	12,84	5,77	0,90	15,60	3,07	0,52	17,08	0,30	0,19	63,84
4	8,62	0,51	5,93	5,68	0,31	5,41	2,72	0,22	8,06	0,41	0,10	23,62
5	9,71	0,70	7,18	6,40	0,31	4,77	3,29	0,39	11,81	0,21	0,10	49,97
6	9,02	0,87	9,59	6,10	0,67	10,96	2,76	0,32	11,71	0,38	0,12	31,12
7	8,42	1,48	17,63	5,94	0,62	10,39	3,06	0,48	15,55	0,17	0,09	54,83
8	9,97	0,60	6,04	6,73	0,35	5,17	3,38	0,40	11,97	0,10	0,10	95,81
9	8,88	1,04	11,73	6,46	0,57	8,75	2,86	0,31	10,80	0,16	0,04	23,80
10	8,43	0,90	10,69	5,73	0,65	11,29	2,48	0,57	22,97	0,39	0,22	57,23
11	9,94	1,09	10,95	6,67	0,99	14,78	3,30	0,42	12,76	0,24	0,25	104,11
12	8,18	0,83	10,15	5,50	0,70	12,78	2,72	0,47	17,20	0,20	0,10	50,11
13	9,46	0,80	8,46	6,20	0,35	5,70	3,13	0,57	18,12	0,27	0,13	46,96
14	9,35	1,08	11,57	6,35	0,43	6,85	3,08	0,17	5,50	0,18	0,03	18,59
15	8,60	0,55	6,41	5,82	0,43	7,43	2,73	0,26	9,54	0,25	0,14	54,30
16	8,92	0,72	8,12	6,27	0,28	4,47	2,89	0,45	15,52	0,32	0,10	31,26
17	9,36	0,55	5,90	6,02	0,52	8,65	3,34	0,23	6,92	0,20	0,06	29,15
18	8,37	0,74	8,84	5,71	0,78	13,59	2,47	0,20	7,93	0,29	0,13	44,35
19	7,92	0,71	8,99	5,28	0,30	5,59	2,44	0,49	20,15	0,38	0,09	23,07
20	9,16	1,22	13,27	5,92	0,89	14,99	3,24	0,52	15,93	0,22	0,06	29,36
21	8,09	0,97	12,04	5,44	0,50	9,25	2,54	0,57	22,63	0,30	0,03	10,90
22	8,93	1,18	13,18	6,06	0,60	9,93	2,85	0,84	29,59	0,31	0,13	42,66
23	9,54	0,84	8,83	6,27	0,53	8,50	3,17	0,36	11,23	0,26	0,11	43,92
24	10,90	1,59	14,54	7,04	0,72	10,27	3,99	0,92	22,97	0,13	0,07	51,34
25	9,05	1,53	16,92	5,79	0,98	16,93	3,08	0,54	17,67	0,21	0,10	48,10
26	9,36	1,04	11,06	6,40	0,61	9,47	2,96	0,60	20,19	0,27	0,01	1,96
27	9,75	1,11	11,43	6,40	0,38	5,90	3,17	0,81	25,70	0,32	0,17	53,91
28	9,18	0,91	9,90	6,26	0,85	13,60	2,86	0,33	11,53	0,26	0,15	56,39
29	8,95	1,50	16,77	6,05	1,29	21,28	2,83	0,40	14,00	0,27	0,23	82,14
30	8,90	0,90	10,07	6,21	0,68	10,88	2,74	0,64	23,45	0,21	0,17	80,39
31	9,51	0,46	4,86	6,28	0,24	3,89	3,25	0,20	6,09	0,26	0,20	75,72
32	9,26	0,39	4,19	6,17	0,39	6,37	3,02	0,19	6,15	0,25	0,17	68,05
33	8,38	1,43	17,01	5,63	0,92	16,27	2,55	0,74	28,92	0,37	0,15	41,29
34	9,28	0,90	9,74	6,21	0,74	11,84	3,04	0,34	11,19	0,21	0,09	40,43
35	9,33	0,90	9,67	6,12	0,64	10,45	3,08	0,27	8,67	0,34	0,11	31,41
36	8,87	0,83	9,33	6,02	0,55	9,08	2,73	0,35	12,79	0,31	0,07	23,24
37	9,19	0,92	9,97	6,22	0,37	5,89	2,88	0,56	19,41	0,24	0,09	34,75
38	9,07	1,01	11,14	6,07	0,59	9,71	2,85	0,28	9,79	0,41	0,36	88,20
39	9,22	1,05	11,39	6,23	0,68	10,87	2,95	0,56	19,15	0,17	0,14	82,48
40	9,08	0,85	9,37	6,06	0,31	5,06	3,02	0,61	20,22	0,20	0,08	42,06
41	8,94	0,87	9,77	6,03	0,68	11,35	2,82	0,42	14,97	0,34	0,11	33,45
42	9,48	0,92	9,71	6,07	0,48	7,84	3,28	0,51	15,49	0,29	0,18	64,30
43	8,81	0,47	5,37	6,02	0,47	7,89	2,77	0,33	11,83	0,24	0,10	40,84
44	8,59	0,91	10,59	5,58	0,52	9,35	3,13	0,30	9,59	0,20	0,03	16,44
45	8,94	1,27	14,21	6,11	0,66	10,86	2,70	0,72	26,71	0,25	0,17	67,29
46	8,95	1,13	12,57	6,27	1,01	16,11	2,76	0,34	12,40	0,21	0,06	30,01
47	9,40	0,43	4,57	6,26	0,61	9,67	3,00	0,19	6,18	0,19	0,13	68,78
48	9,31	1,56	16,80	5,96	0,88	14,82	3,09	0,49	15,97	0,24	0,10	43,46
49	8,74	0,24	2,78	5,79	0,26	4,42	2,90	0,13	4,44	0,24	0,08	33,42

50	9,40	2,11	22,44	5,75	1,14	19,86	3,43	0,93	27,27	0,26	0,22	84,98
51	9,47	1,11	11,76	6,09	0,30	4,92	3,40	0,97	28,52	0,23	0,08	36,33
52	8,92	0,91	10,22	6,18	0,32	5,13	2,80	0,46	16,30	0,32	0,12	38,59
53	8,30	0,62	7,52	5,76	0,55	9,50	2,56	0,29	11,32	0,13	0,08	60,31
54	9,62	1,52	15,85	6,28	0,98	15,60	3,15	0,65	20,71	0,30	0,09	30,72
55	9,38	1,72	18,31	6,14	1,14	18,63	3,18	0,88	27,61	0,27	0,20	76,26
56	7,83	0,64	8,21	5,23	0,17	3,27	2,75	0,29	10,53	0,27	0,06	23,09
57	8,82	0,62	6,98	5,97	0,61	10,29	2,88	0,24	8,28	0,21	0,15	70,37
58	8,84	0,24	2,67	5,86	0,10	1,68	2,89	0,35	12,10	0,32	0,09	28,15
59	9,22	0,18	1,93	6,08	0,31	5,13	3,02	0,25	8,30	0,42	0,24	56,86
60	9,54	1,39	14,55	6,20	0,70	11,22	3,24	0,73	22,65	0,22	0,10	42,97
61	9,32	0,57	6,16	6,40	0,25	3,92	3,26	0,50	15,31	0,19	0,08	39,93
62	8,66	0,73	8,40	5,81	0,49	8,36	2,84	0,53	18,79	0,26	0,08	30,32
63	8,41	0,76	9,02	5,76	0,81	14,05	2,68	0,23	8,53	0,41	0,20	48,67
64	9,78	0,53	5,43	6,18	0,42	6,83	3,44	0,52	15,21	0,24	0,11	45,92
65	8,48	0,68	7,96	5,88	0,49	8,28	2,59	0,30	11,69	0,26	0,03	10,33
66	8,88	1,06	11,99	6,17	0,67	10,79	2,67	0,65	24,40	0,24	0,18	74,24
67	8,45	0,30	3,55	5,70	0,09	1,64	2,72	0,31	11,28	0,21	0,08	40,81
68	8,89	0,80	8,96	5,88	0,66	11,28	3,00	0,59	19,58	0,20	0,10	48,87
69	7,99	1,15	14,43	5,53	0,73	13,12	2,27	0,59	26,08	0,32	0,26	82,27
70	9,10	0,56	6,12	6,04	0,45	7,42	3,06	0,27	8,67	0,21	0,17	79,87
71	9,41	0,80	8,48	6,09	0,32	5,24	3,14	0,44	13,92	0,34	0,23	67,16
72	9,54	0,66	6,88	6,32	0,42	6,60	3,21	0,49	15,11	0,23	0,17	72,92
73	8,20	0,23	2,77	5,58	0,28	5,09	2,59	0,07	2,83	0,16	0,09	55,86
74	9,25	0,48	5,18	6,21	0,40	6,48	3,13	0,43	13,90	0,20	0,10	50,41
75	9,44	0,75	7,99	6,36	0,38	5,96	3,05	0,60	19,61	0,24	0,10	41,71
76	8,88	0,80	9,00	5,93	0,82	13,82	2,88	0,42	14,48	0,33	0,31	93,71
77	9,04	1,81	20,04	6,11	0,69	11,25	2,94	1,15	38,93	0,23	0,03	11,27
78	9,88	0,29	2,94	6,65	0,10	1,46	3,22	0,30	9,24	0,24	0,06	23,60
79	9,74	0,51	5,20	6,46	0,08	1,18	3,38	0,10	2,96	0,26	0,11	43,43
80	8,80	0,45	5,15	5,83	0,25	4,26	3,00	0,23	7,64	0,28	0,14	49,07
81	8,85	1,15	12,96	6,05	0,76	12,56	2,77	0,58	20,83	0,22	0,20	93,11
82	9,26	0,88	9,55	5,72	0,42	7,38	3,55	0,85	23,86	0,27	0,17	64,71
83	9,77	0,69	7,04	6,48	0,41	6,30	3,24	0,47	14,61	0,26	0,14	53,83
84	8,55	0,83	9,73	5,66	0,72	12,81	2,82	0,35	12,38	0,30	0,10	32,82
85	9,37	0,76	8,14	6,30	0,43	6,87	2,99	0,36	12,17	0,25	0,16	64,90
86	9,23	1,17	12,64	6,04	0,71	11,80	3,12	0,69	22,25	0,28	0,13	47,90
87	9,11	1,88	20,62	5,98	1,28	21,41	3,03	0,80	26,40	0,24	0,13	52,31
88	8,58	0,86	9,99	5,65	0,36	6,40	3,03	0,69	22,86	0,38	0,14	37,35
89	9,69	0,53	5,44	6,67	0,29	4,42	2,99	0,45	15,01	0,30	0,18	57,90
90	9,07	2,33	25,68	5,98	1,42	23,70	3,34	0,86	25,78	0,18	0,13	68,09
91	9,25	0,82	8,89	6,06	0,57	9,48	3,11	0,52	16,73	0,30	0,10	32,05
92	8,42	1,42	16,87	5,63	0,95	16,87	2,64	0,52	19,60	0,33	0,02	6,18
93	7,85	1,45	18,50	4,90	0,67	13,69	2,61	0,91	34,85	0,51	0,13	24,70
94	8,27	0,59	7,18	5,58	0,70	12,62	2,61	0,14	5,55	0,23	0,16	67,68
95	8,64	0,58	6,73	5,67	0,31	5,41	2,82	0,50	17,93	0,34	0,10	30,20
96	9,03	1,72	19,09	5,87	0,91	15,47	3,16	0,89	28,22	0,22	0,01	5,47
97	8,89	1,21	13,65	5,70	0,48	8,41	2,94	0,72	24,41	0,29	0,07	25,84
98	8,81	0,59	6,72	6,04	0,54	9,01	2,64	0,23	8,90	0,24	0,14	56,47
99	9,03	0,82	9,07	5,84	0,50	8,49	3,09	0,36	11,73	0,28	0,14	51,25
100	9,01	0,33	3,70	6,12	0,46	7,59	3,14	0,31	9,84	0,18	0,08	42,37
101	8,18	1,12	13,71	5,34	0,81	15,13	2,71	0,56	20,62	0,31	0,19	61,24
102	9,01	0,98	10,87	6,00	0,82	13,66	3,43	0,40	11,77	0,23	0,02	8,11
103	9,22	1,48	16,09	6,17	1,03	16,61	2,95	0,79	26,87	0,31	0,21	68,37

104	8,85	0,43	4,86	6,00	0,12	1,95	2,98	0,17	5,68	0,24	0,03	11,79
105	9,57	0,80	8,31	6,35	0,78	12,25	3,23	0,36	11,18	0,22	0,02	8,13
106	8,73	0,79	9,03	5,64	0,51	9,13	3,05	0,72	23,63	0,25	0,21	87,12
107	8,46	1,12	13,29	5,39	0,70	12,96	2,91	0,57	19,43	0,30	0,16	54,56
108	9,30	0,95	10,22	6,02	0,59	9,72	3,26	0,43	13,32	0,24	0,10	40,15
109	9,22	0,76	8,22	6,18	0,35	5,69	3,11	0,60	19,23	0,18	0,11	60,92
110	9,51	1,17	12,25	6,35	0,59	9,34	3,15	0,70	22,16	0,24	0,15	60,78
111	9,56	0,17	1,76	6,65	0,16	2,43	3,11	0,19	6,06	0,10	0,05	48,01
112	8,90	0,76	8,53	5,83	0,52	8,97	2,85	0,32	11,09	0,32	0,13	40,49
113	8,73	0,65	7,50	5,53	0,44	8,00	2,97	0,40	13,61	0,32	0,16	51,82
114	8,83	1,05	11,91	5,93	0,80	13,47	2,85	0,41	14,22	0,24	0,15	59,78
115	9,38	1,21	12,88	6,35	0,82	12,89	2,83	0,49	17,20	0,28	0,15	53,42
116	9,45	0,41	4,35	6,55	0,33	4,98	2,90	0,15	5,00	0,19	0,11	56,12
117	8,79	0,64	7,30	6,00	0,53	8,76	2,79	0,47	17,04	0,23	0,09	38,29
118	8,51	1,00	11,69	5,76	0,47	8,20	2,63	0,82	31,18	0,17	0,04	24,74
119	9,35	0,89	9,52	6,31	0,59	9,33	2,90	0,36	12,30	0,32	0,17	52,52
120	8,59	1,03	11,98	5,47	0,51	9,35	3,12	0,65	20,96	0,31	0,00	0,20
MG⁹	9,02	0,91	10,11	6,02	0,58	9,70	2,97	0,47	16,02	0,26	0,12	47,70
DP¹⁰	0,50			0,35			0,27			0,07		
CV¹¹	5,56			5,77			9,00			26,55		

NOTA: β_{vol}^1 , β_{tang}^2 , β_{rad}^3 , β_{long}^4 = coeficientes de contração máxima volumétrica e lineares tangencial radial e longitudinal (%); FAM⁵ = grupos de famílias avaliados; MEDIA⁶ = média da família; DP⁷ = desvio padrão dentro da família; CV⁸ = coeficiente de variação da família (%); MG⁹ = média geral das famílias; DP¹⁰ = desvio padrão entre as famílias; CV¹¹ = coeficiente de variação das famílias (%)

FONTE: O autor (2009)

TABELA 24. COEFICIENTES DE ANISOTROPIA E CONTRAÇÃO

FAM ⁵	AC ¹			QR _{vol} ²			QR _{tang} ³			QR _{rad} ⁴		
	MEDIA ⁶	DP ⁷	CV ⁸	MEDIA ⁶	DP ⁷	CV ⁸	MEDIA ⁶	DP ⁷	CV ⁸	MEDIA ⁶	DP ⁷	CV ⁸
1	2,36	0,43	18,22	0,31	0,08	24,56	0,32	0,09	28,17	0,10	0,03	32,23
2	2,17	0,19	8,64	0,36	0,04	11,77	0,36	0,05	13,03	0,12	0,02	13,77
3	2,00	0,26	12,85	0,33	0,05	16,09	0,31	0,05	15,16	0,11	0,02	17,09
4	2,12	0,10	4,54	0,32	0,03	7,74	0,31	0,02	5,82	0,10	0,01	6,74
5	2,05	0,19	9,49	0,42	0,05	11,90	0,38	0,06	14,77	0,14	0,03	18,45
6	2,24	0,03	1,25	0,34	0,04	12,57	0,33	0,05	13,92	0,11	0,01	13,57
7	1,98	0,14	7,13	0,36	0,01	3,30	0,34	0,00	1,15	0,12	0,01	9,27
8	1,98	0,19	9,51	0,38	0,02	6,40	0,35	0,02	4,67	0,13	0,02	12,80
9	2,31	0,22	9,61	0,37	0,03	6,98	0,36	0,02	6,70	0,12	0,01	9,14
10	2,40	0,43	17,97	0,36	0,05	13,70	0,35	0,06	17,04	0,12	0,03	26,05
11	2,06	0,09	4,27	0,38	0,05	13,72	0,36	0,05	13,49	0,13	0,02	16,37
12	2,05	0,27	13,23	0,32	0,02	6,82	0,28	0,03	10,12	0,10	0,02	19,43
13	2,04	0,29	14,43	0,33	0,05	14,36	0,31	0,05	17,20	0,11	0,02	15,65
14	2,12	0,09	4,06	0,36	0,03	7,78	0,35	0,02	6,63	0,12	0,01	8,53
15	2,19	0,16	7,30	0,34	0,02	6,54	0,34	0,03	8,68	0,11	0,01	5,77
16	2,21	0,31	14,06	0,38	0,02	4,99	0,36	0,02	5,17	0,12	0,01	8,77
17	1,83	0,21	11,70	0,35	0,03	9,67	0,31	0,04	12,07	0,12	0,01	11,11
18	2,29	0,30	12,89	0,33	0,01	2,53	0,33	0,05	14,71	0,10	0,02	15,86
19	2,24	0,35	15,44	0,31	0,03	10,54	0,29	0,03	9,39	0,09	0,02	24,23
20	1,88	0,20	10,59	0,37	0,05	12,68	0,33	0,06	16,86	0,13	0,02	16,12
21	2,27	0,28	12,39	0,34	0,03	7,54	0,32	0,03	8,13	0,10	0,01	10,61
22	2,26	0,44	19,51	0,34	0,05	13,32	0,34	0,02	6,21	0,11	0,03	29,22
23	1,99	0,08	3,82	0,36	0,03	8,42	0,34	0,02	6,24	0,12	0,01	10,90
24	1,80	0,30	16,39	0,42	0,08	19,91	0,37	0,03	9,36	0,15	0,04	26,86
25	1,89	0,21	11,25	0,35	0,02	4,47	0,31	0,04	13,76	0,12	0,01	8,35
26	2,23	0,32	14,48	0,37	0,05	14,49	0,35	0,03	9,99	0,12	0,03	21,07
27	2,12	0,45	21,18	0,36	0,03	7,96	0,34	0,03	7,75	0,11	0,03	26,69
28	2,26	0,30	13,39	0,36	0,03	8,97	0,35	0,05	13,37	0,12	0,01	8,53
29	2,19	0,22	10,21	0,34	0,04	13,32	0,34	0,06	19,31	0,11	0,02	14,08
30	2,43	0,44	18,03	0,35	0,03	7,25	0,35	0,04	10,86	0,11	0,02	18,72
31	1,98	0,04	1,96	0,36	0,03	8,74	0,33	0,04	11,90	0,13	0,01	9,11
32	2,06	0,11	5,40	0,35	0,01	3,80	0,33	0,02	7,48	0,12	0,01	4,53
33	2,35	0,36	15,52	0,35	0,10	28,17	0,34	0,10	28,57	0,11	0,04	32,75
34	2,09	0,21	10,16	0,37	0,03	8,36	0,34	0,06	17,70	0,12	0,01	8,55
35	2,05	0,17	8,24	0,38	0,04	11,64	0,35	0,02	6,13	0,12	0,00	3,14
36	2,24	0,09	3,81	0,34	0,03	9,93	0,35	0,05	14,81	0,11	0,01	10,81
37	2,23	0,34	15,27	0,34	0,03	8,34	0,34	0,03	8,29	0,11	0,02	15,03
38	2,77	0,78	28,11	0,34	0,02	5,32	0,34	0,01	4,06	0,10	0,00	4,92
39	2,16	0,34	15,87	0,37	0,03	9,20	0,35	0,04	11,89	0,12	0,02	16,98
40	2,04	0,31	15,32	0,36	0,03	9,38	0,32	0,01	4,39	0,12	0,02	17,56
41	2,18	0,11	5,15	0,35	0,04	10,33	0,34	0,03	9,54	0,11	0,01	9,97
42	1,91	0,24	12,55	0,36	0,02	4,35	0,32	0,02	6,75	0,13	0,02	12,49
43	2,25	0,23	10,08	0,33	0,05	14,68	0,33	0,05	14,83	0,10	0,02	18,01
44	1,94	0,19	9,62	0,34	0,04	11,36	0,25	0,11	44,63	0,12	0,01	7,68
45	2,36	0,43	18,18	0,35	0,05	13,34	0,35	0,03	9,13	0,11	0,03	23,11
46	2,24	0,33	14,50	0,35	0,02	6,58	0,35	0,06	15,86	0,10	0,02	15,25
47	2,12	0,30	14,03	0,35	0,01	2,87	0,32	0,03	10,83	0,12	0,00	3,87
48	2,02	0,15	7,27	0,35	0,03	9,89	0,31	0,05	16,87	0,12	0,01	12,70
49	2,02	0,19	9,15	0,36	0,01	3,78	0,33	0,02	7,14	0,12	0,01	5,62

50	1,77	0,16	8,91	0,35	0,08	23,76	0,29	0,06	20,88	0,13	0,04	27,72
51	2,00	0,37	18,78	0,36	0,05	14,50	0,32	0,01	2,46	0,14	0,05	34,56
52	2,26	0,35	15,34	0,36	0,03	8,55	0,34	0,02	4,74	0,11	0,03	24,19
53	2,26	0,31	13,76	0,33	0,01	3,67	0,33	0,06	16,60	0,10	0,01	8,51
54	1,99	0,29	14,35	0,32	0,07	21,13	0,29	0,08	25,83	0,11	0,03	24,23
55	1,98	0,24	11,92	0,36	0,05	12,75	0,34	0,04	12,27	0,12	0,03	20,76
56	1,93	0,23	12,10	0,35	0,02	6,42	0,29	0,03	9,31	0,12	0,02	13,63
57	2,11	0,23	10,99	0,35	0,03	8,25	0,33	0,05	14,70	0,12	0,01	10,09
58	2,10	0,24	11,49	0,33	0,01	4,17	0,32	0,03	8,35	0,11	0,01	8,43
59	2,08	0,14	6,67	0,36	0,03	7,99	0,33	0,02	6,19	0,12	0,01	12,13
60	2,01	0,30	14,99	0,35	0,04	9,97	0,33	0,02	6,48	0,12	0,02	16,75
61	2,01	0,29	14,26	0,38	0,03	7,35	0,36	0,02	5,91	0,13	0,02	13,03
62	2,10	0,31	14,89	0,35	0,02	6,16	0,32	0,03	9,35	0,11	0,01	12,11
63	2,39	0,55	22,83	0,33	0,02	5,33	0,33	0,04	12,98	0,10	0,01	12,51
64	1,69	0,16	9,15	0,36	0,01	2,50	0,32	0,02	6,53	0,13	0,01	9,67
65	2,28	0,25	11,13	0,34	0,03	7,62	0,34	0,04	12,68	0,11	0,01	12,08
66	2,41	0,40	16,52	0,35	0,05	14,92	0,35	0,04	11,29	0,11	0,02	17,39
67	2,11	0,22	10,33	0,34	0,04	10,49	0,32	0,02	5,20	0,11	0,02	17,02
68	2,01	0,53	26,12	0,34	0,05	13,95	0,31	0,06	18,48	0,12	0,03	22,52
69	2,47	0,34	13,70	0,32	0,04	11,63	0,32	0,02	6,82	0,10	0,02	24,22
70	1,99	0,15	7,45	0,35	0,03	7,42	0,32	0,02	6,62	0,12	0,01	9,70
71	1,97	0,16	8,35	0,33	0,06	16,93	0,34	0,02	4,91	0,12	0,01	11,24
72	2,06	0,36	17,42	0,35	0,03	8,97	0,35	0,03	7,31	0,11	0,03	25,07
73	2,23	0,06	2,81	0,34	0,00	0,54	0,31	0,01	2,31	0,11	0,01	4,95
74	2,05	0,26	12,67	0,35	0,02	5,81	0,34	0,04	11,36	0,11	0,01	9,12
75	2,15	0,31	14,50	0,38	0,02	4,45	0,34	0,02	6,85	0,13	0,02	14,70
76	2,10	0,21	10,20	0,34	0,03	7,38	0,33	0,05	13,79	0,11	0,02	16,68
77	2,21	0,62	28,22	0,37	0,02	6,59	0,35	0,04	10,14	0,12	0,02	19,26
78	2,11	0,21	9,80	0,37	0,02	5,47	0,36	0,02	6,13	0,12	0,01	12,25
79	1,90	0,13	6,65	0,39	0,01	1,82	0,34	0,02	5,21	0,14	0,00	0,90
80	1,98	0,12	5,85	0,33	0,03	9,88	0,30	0,04	14,80	0,11	0,01	8,44
81	2,16	0,21	9,62	0,34	0,03	9,96	0,34	0,03	9,56	0,11	0,01	13,09
82	1,74	0,33	18,73	0,37	0,02	6,73	0,30	0,03	9,43	0,14	0,03	21,63
83	2,06	0,17	8,26	0,37	0,03	9,31	0,35	0,03	9,56	0,13	0,02	14,93
84	2,03	0,20	9,90	0,35	0,02	5,25	0,32	0,04	13,76	0,12	0,01	8,24
85	2,14	0,15	6,94	0,35	0,02	5,13	0,33	0,02	5,32	0,12	0,01	7,13
86	1,99	0,24	12,26	0,36	0,05	13,31	0,32	0,04	10,97	0,12	0,03	21,47
87	2,04	0,26	12,85	0,41	0,15	37,01	0,37	0,14	36,84	0,13	0,06	44,12
88	1,95	0,40	20,31	0,34	0,03	8,91	0,29	0,03	10,63	0,11	0,02	17,38
89	2,29	0,43	18,86	0,38	0,01	3,61	0,37	0,01	2,71	0,11	0,02	18,08
90	1,79	0,32	17,76	0,35	0,09	24,86	0,31	0,08	25,11	0,12	0,03	22,18
91	2,02	0,30	14,94	0,36	0,04	10,75	0,34	0,05	16,00	0,12	0,01	11,49
92	2,16	0,14	6,60	0,35	0,06	16,11	0,32	0,05	15,34	0,11	0,02	18,06
93	2,36	0,79	33,57	0,33	0,04	12,90	0,26	0,04	16,57	0,11	0,03	26,29
94	2,15	0,31	14,48	0,34	0,03	7,61	0,32	0,05	15,63	0,11	0,01	9,91
95	2,14	0,40	18,55	0,34	0,02	6,99	0,32	0,03	9,30	0,11	0,02	15,68
96	1,89	0,24	12,79	0,36	0,05	14,42	0,31	0,05	17,66	0,13	0,03	24,05
97	2,09	0,43	20,49	0,35	0,02	4,95	0,32	0,04	12,75	0,12	0,02	13,58
98	2,29	0,25	11,06	0,34	0,02	6,05	0,34	0,05	13,53	0,11	0,01	5,06
99	1,99	0,21	10,59	0,34	0,02	4,45	0,31	0,02	6,64	0,12	0,01	8,69
100	2,16	0,51	23,59	0,37	0,03	9,51	0,34	0,03	8,62	0,12	0,02	17,48
101	2,01	0,14	7,12	0,33	0,03	7,83	0,28	0,04	12,99	0,11	0,02	14,19
102	1,75	0,08	4,59	0,36	0,03	8,88	0,31	0,04	12,92	0,13	0,01	8,76
103	2,19	0,29	13,44	0,36	0,06	16,41	0,34	0,05	13,51	0,12	0,03	27,12

104	2,00	0,16	7,94	0,35	0,02	5,13	0,32	0,01	2,27	0,12	0,01	6,85
105	2,00	0,34	17,08	0,37	0,04	10,49	0,34	0,05	15,16	0,13	0,01	7,54
106	2,05	0,49	24,05	0,34	0,03	9,17	0,29	0,06	21,87	0,11	0,02	17,33
107	1,94	0,24	12,57	0,34	0,04	13,11	0,30	0,04	15,06	0,12	0,02	18,22
108	1,88	0,09	4,80	0,38	0,01	2,93	0,34	0,01	4,33	0,13	0,00	2,80
109	2,10	0,36	17,11	0,36	0,02	4,96	0,34	0,03	8,05	0,12	0,02	14,87
110	2,07	0,32	15,28	0,35	0,03	9,14	0,33	0,04	12,03	0,11	0,01	11,22
111	2,20	0,16	7,44	0,36	0,02	4,35	0,37	0,01	3,13	0,12	0,01	7,73
112	2,07	0,16	7,65	0,34	0,03	8,16	0,31	0,02	7,19	0,11	0,01	13,06
113	2,00	0,22	11,07	0,34	0,03	9,78	0,30	0,03	10,11	0,12	0,02	14,18
114	2,14	0,06	2,93	0,35	0,05	14,54	0,32	0,05	16,56	0,11	0,02	15,41
115	2,31	0,15	6,44	0,38	0,06	14,83	0,34	0,05	14,98	0,12	0,02	16,17
116	2,52	0,45	17,84	0,36	0,02	6,11	0,37	0,02	4,48	0,12	0,01	8,23
117	2,20	0,38	17,26	0,34	0,04	10,71	0,34	0,04	13,30	0,11	0,02	15,55
118	2,36	0,76	31,96	0,34	0,03	7,69	0,32	0,01	3,07	0,11	0,02	15,08
119	2,22	0,25	11,33	0,36	0,04	10,23	0,35	0,06	16,01	0,11	0,01	9,78
120	1,79	0,29	16,38	0,34	0,03	10,07	0,28	0,03	10,52	0,12	0,03	21,47
MG⁹	2.11	0.27	12.72	0.35	0.03	9.74	0.33	0.04	11.50	0.12	0.02	14.88
DP¹⁰	0.17			0.02			0.02			0.01		
CV¹¹	8.28			5.32			7.04			8.45		

NOTA: AC¹ = coeficiente de anisotropia (β_{tan}/β_{rad}); QR_{vol}², QR_{tang}³, QR_{rad}⁴ = coeficientes de contração volumétrico, tangencial e radial (%/‰); FAM⁵ = grupos de famílias avaliados; MEDIA⁶ = média da família; DP⁷ = desvio padrão dentro da família; CV⁸ = coeficiente de variação da família (%); MG⁹ = média geral das famílias; DP¹⁰ = desvio padrão entre as famílias; CV¹¹ = coeficiente de variação das famílias (%).

FONTE: O autor (2009)

TABELA 25 – MÓDULOS DE ELASTICIDADE E RUPTURA

FAM ³	MOR ¹			MOE ²		
	MEDIA ⁴	DP ⁵	CV ⁶	MEDIA ⁴	DP ⁵	CV ⁶
1	216,95	33,66	15,51	10433,91	3950,82	37,87
2	248,61	53,72	21,61	12350,58	3431,99	27,79
3	228,13	34,81	15,26	10949,59	3800,97	34,71
4	198,05	8,91	4,50	8596,83	747,45	8,69
5	240,00	35,73	14,89	14616,88	5911,21	40,44
6	224,79	14,30	6,36	11085,45	205,24	1,85
7	234,73	31,01	13,21	14815,91	1141,15	7,70
8	232,20	36,79	15,84	12271,33	2854,57	23,26
9	249,99	36,83	14,73	17244,73	3614,59	20,96
10	230,98	58,74	25,43	10486,45	3165,87	30,19
11	316,35	31,68	10,01	19457,25	1348,74	6,93
12	213,86	59,69	27,91	11141,50	3894,58	34,96
13	232,72	14,63	6,29	10921,01	2697,45	24,70
14	218,88	22,68	10,36	11007,10	2609,74	23,71
15	241,88	27,78	11,49	11363,97	3826,03	33,67
16	214,07	27,71	12,94	11156,58	2225,13	19,94
17	241,14	43,48	18,03	12795,82	4143,34	32,38
18	222,34	14,66	6,59	13091,70	3252,58	24,84
19	235,25	58,69	24,95	10375,63	978,74	9,43
20	317,15			21819,05		
21	224,00	41,20	18,39	10777,79	3491,43	32,39
22	221,76	72,78	32,82	13453,05	7061,58	52,49
23	239,69	26,93	11,23	12825,80	2615,97	20,40
24	229,22	24,58	10,73	10683,36	2488,58	23,29
25	259,00	57,49	22,20	9494,18	2149,71	22,64
26	233,50	16,73	7,17	12521,99	1445,23	11,54
27	214,38	32,23	15,03	10562,22	3006,28	28,46
28	247,85	37,17	15,00	13090,86	6038,54	46,13
29	224,41	28,06	12,51	12137,16	4307,15	35,49
30	233,13	67,71	29,04	13288,60	5559,63	41,84
31	256,65	32,73	12,75	10884,11	3787,19	34,80
32	214,41	14,17	6,61	9859,21	4043,51	41,01
33	265,24	83,21	31,37	15452,60	8200,92	53,07
34	240,27	19,46	8,10	12029,84	2609,59	21,69
35	289,45			10274,20		
36	196,11	17,91	9,14	9196,99	2113,63	22,98
37	228,79	12,38	5,41	11197,69	2150,62	19,21
38	238,26	32,86	13,79	8739,94	2078,39	23,78
39	222,39	38,59	17,35	11135,99	2852,10	25,61
40	245,38	15,73	6,41	11837,88	821,34	6,94
41	254,72	6,83	2,68	14178,46	4053,46	28,59
42	219,89	28,76	13,08	11703,55	777,89	6,65
43	218,69	34,69	15,86	9867,68	3687,45	37,37
44	228,00			9305,13		
45	260,65			11365,20		
46	216,85	54,55	25,16	12090,85	2370,38	19,60
47	248,53	22,61	9,10	13992,18	1927,21	13,77
48	249,20	72,48	29,08	14821,43	7225,89	48,75
49	267,20	4,95	1,85	7198,95	661,57	9,19

50	296,01	35,90	12,13	16534,94	1171,41	7,08
51	216,45	34,92	16,13	12257,78	2906,43	23,71
52	237,65	15,20	6,40	11631,60	4658,28	40,05
53	221,79	9,29	4,19	12978,45	1110,97	8,56
54	245,68	41,42	16,86	12408,07	4772,31	38,46
55	237,46	52,76	22,22	11617,78	6771,40	58,28
56	225,21	22,98	10,20	9702,45	1880,08	19,38
57	230,69	16,51	7,16	12923,70	3499,79	27,08
58	222,16	29,15	13,12	11278,97	3081,58	27,32
59	219,91	33,02	15,01	8204,59	3002,05	36,59
60	249,96	28,98	11,59	15217,16	3490,70	22,94
61	262,40	49,42	18,84	13128,33	6587,54	50,18
62	233,29	29,99	12,85	9462,96	3475,47	36,73
63	257,94	39,98	15,50	16825,91	4417,66	26,26
64	258,57	43,29	16,74	15324,98	4258,48	27,79
65	212,63	15,20	7,15	10257,62	2157,73	21,04
66	219,68	41,33	18,81	8709,28	1344,46	15,44
67	238,55			5749,60		
68	263,44	47,41	18,00	11416,08	1490,56	13,06
69	204,85	26,02	12,70	8800,73	940,63	10,69
70	240,83	25,06	10,41	14912,15	4893,49	32,82
71	216,55	27,25	12,58	9328,93	1772,38	19,00
72	205,65	64,63	31,43	10818,40	3187,71	29,47
73	226,15			6332,95		
74	249,19	23,33	9,36	12472,04	2607,84	20,91
75	241,83	101,36	41,92	14054,90	4623,42	32,90
76	179,08			6065,55		
77	236,99	18,33	7,74	11880,90	1274,49	10,73
78	259,88	26,76	10,30	14675,35	2830,55	19,29
79	226,49	37,27	16,46	13179,34	2986,59	22,66
80	199,34	37,82	18,97	10759,03	2975,26	27,65
81	252,12	50,75	20,13	13114,34	5061,02	38,59
82	255,88	59,98	23,44	13566,70	5248,42	38,69
83	241,78	26,65	11,02	10031,83	430,52	4,29
84	242,93	22,93	9,44	12594,28	2117,56	16,81
85	277,60			15644,65		
86	252,38	56,33	22,32	10924,77	2182,00	19,97
87	243,44	61,05	25,08	13516,41	6511,25	48,17
88	259,53	33,80	13,03	13344,24	4359,70	32,67
89	239,60	10,35	4,32	11812,18	944,18	7,99
90	256,00	37,88	14,80	13216,80	2495,35	18,88
91	232,47	16,95	7,29	10323,85	1824,19	17,67
92	235,23	36,99	15,72	10982,04	3131,33	28,51
93	219,48	8,32	3,79	9819,60	1118,63	11,39
94	216,13	23,17	10,72	10419,05	2971,56	28,52
95	210,90	19,66	9,32	11906,76	2471,44	20,76
96	233,70			15377,25		
97	235,86	48,96	20,76	11151,43	3974,62	35,64
98	240,51	61,09	25,40	11165,86	4188,18	37,51
99	231,07	40,21	17,40	13107,16	3871,62	29,54
100	246,40	26,29	10,67	12524,71	2289,02	18,28
101	214,72	23,02	10,72	9696,51	2877,71	29,68
102	245,52	16,24	6,61	14150,93	142,66	1,01
103	254,24	59,28	23,32	14362,53	7073,26	49,25

104	235,35	22,70	9,64	13181,93	2770,67	21,02
105	242,58	66,79	27,53	14190,60	7356,10	51,84
106	242,44	52,73	21,75	10899,05	3543,07	32,51
107	263,96	41,36	15,67	14185,94	3220,08	22,70
108	263,08	53,67	20,40	14737,44	7043,70	47,79
109	246,98	46,06	18,65	13021,30	4815,46	36,98
110	202,10			10931,15		
111	261,99	20,56	7,85	15480,74	1535,70	9,92
112	253,45			13482,70		
113	202,73	10,64	5,25	8321,46	1610,28	19,35
114	264,86	42,52	16,05	11629,23	2273,83	19,55
115	252,17	28,58	11,34	11830,91	3325,82	28,11
116	231,01	23,73	10,27	12521,48	1124,82	8,98
117	199,93	54,57	27,29	9915,57	4578,72	46,18
118	242,77	23,01	9,48	13611,93	1085,00	7,97
119	246,50	23,24	9,43	10534,07	2807,36	26,65
120	227,70			8734,60		
MG⁷	237,49	34,88	14,71	11990,19	3165,46	26,03
DP⁸	22,09			2473,61		
CV⁹	9,30			20,63		

NOTA: MOR¹ = módulo de ruptura (Kgf/cm²); MOE² = módulo de elasticidade (Kgf/cm²); FAM³ = grupo de famílias avaliadas; MEDIA⁴ = média da família; DP⁵ = desvio padrão dentro da família; CV⁶ = coeficiente de variação da família (%); MG⁷ = média geral das famílias; DP⁸ = desvio padrão entre as famílias; CV⁹ = coeficiente de variação das famílias (%).

FONTE: O autor (2009)

TABELA 26 – TENSÃO DE CISALHAMENTO PARA AS 120 FAMILIAS DE *P. TAEDA*

FAM ²	T _{cis} ¹		
	MEDIA ³	DP ⁴	CV ⁵
1	92,57	5,74	6,20
2	84,12	10,75	12,78
3	92,00	11,62	12,63
4	88,04	9,97	11,32
5	83,96	13,81	16,45
6	87,73	5,75	6,55
7	92,14	5,93	6,44
8	90,90	4,32	4,76
9	83,27	8,03	9,64
10	99,52	18,52	18,61
11	91,37	10,20	11,17
12	76,43	10,63	13,91
13	84,87	11,90	14,03
14	87,48	4,08	4,66
15	81,88	7,50	9,16
16	87,70	10,82	12,34
17	78,56	9,10	11,59
18	99,09	15,30	15,44
19	81,11	10,98	13,54
20	84,95	8,20	9,66
21	81,28	18,08	22,24
22	85,37	16,10	18,86
23	92,81	15,82	17,05
24	87,69		
25	99,62	7,01	7,03
26	85,72	11,48	13,39
27	91,82	16,99	18,50
28	91,12	12,48	13,69
29	84,57	10,58	12,51
30	85,97	11,77	13,69
31	78,05	17,10	21,91
32	99,14	14,63	14,75
33	92,37	32,30	34,97
34	82,54	15,01	18,19
35	88,13	26,04	29,54
36	85,59	3,89	4,54
37	91,44	17,81	19,48
38	86,74	12,45	14,35
39	80,89	16,89	20,88
40	76,84	9,78	12,72
41	90,76	23,69	26,10
42	89,73	9,53	10,62
43	89,59	7,88	8,80
44	101,63	11,00	10,83
45	90,20	27,97	31,01
46	96,41	4,06	4,21
47	87,98	2,24	2,54
48	85,96	21,61	25,13

49	86,29	14,00	16,23
50	93,56	32,25	34,47
51	85,37	10,62	12,44
52	87,36	11,69	13,38
53	83,24	9,04	10,86
54	106,94	23,95	22,39
55	89,49	20,17	22,54
56	69,34	9,85	14,21
57	90,89	17,55	19,31
58	74,21	7,46	10,05
59	88,59	13,17	14,86
60	77,29	14,17	18,33
61	79,44	14,35	18,07
62	86,20	11,78	13,67
63	84,08	17,29	20,56
64	90,14	21,31	23,64
65	100,60		
66	80,28	4,44	5,53
67	85,18	18,21	21,37
68	93,91	9,51	10,12
69	91,69	2,80	3,05
70	94,49	7,42	7,86
71	83,03	20,15	24,27
72	89,49	7,40	8,27
73	90,60	17,00	18,77
74	79,16	13,31	16,81
75	95,12	19,77	20,78
76	80,86	6,16	7,62
77	85,02	10,91	12,83
78	77,77	7,63	9,81
79	91,50	7,80	8,52
80	84,99	15,77	18,56
81	79,85	7,66	9,59
82	97,98	15,66	15,99
83	92,24	10,32	11,19
84	92,95		
85	87,37	15,89	18,18
86	94,52	12,85	13,59
87	83,36	10,78	12,93
88	91,22	10,58	11,60
89	94,53	6,59	6,97
90	100,76	2,26	2,25
91	91,82	6,44	7,01
92	89,47	4,09	4,58
93	86,49	3,61	4,18
94	80,80	13,25	16,40
95	83,18	12,51	15,04
96	86,74	4,74	5,47
97	84,63	13,11	15,49
98	79,48	5,83	7,33
99	86,53	14,12	16,32
100	101,40	12,94	12,76
101	78,81	15,31	19,43
102	85,89	18,94	22,06

103	91,86	19,99	21,77
104	88,11	11,82	13,41
105	81,42	9,82	12,07
106	86,55	11,23	12,97
107	82,16	13,86	16,87
108	89,40	13,81	15,45
109	79,13	14,66	18,52
110	93,12	13,82	14,84
111	83,62	19,49	23,31
112	81,86		
113	81,01	14,41	17,79
114	96,30	24,84	25,80
115	91,64	23,22	25,34
116	84,81	24,54	28,94
117	83,11	18,25	21,96
118	84,12	15,31	18,20
119	90,70	12,74	14,05
120			
MG⁶	87,59	12,90	14,76
DP⁷	6,46		
CV⁸	7,38		

NOTA: T_{CIS}¹ = tensão de cisalhamento (Kgf/cm²); FAM² = grupo de famílias avaliadas; MEDIA³ = média da família; DP⁴ = desvio padrão dentro da família; CV⁵ = coeficiente de variação da família (%); MG⁶ = média geral das famílias; DP⁷ = desvio padrão entre as famílias; CV⁸ = coeficiente de variação das famílias (%).

FONTE: O autor (2009)

9 ANEXOS

9.1 Valores médios das variáveis por clusters

TABELA 27 – MEDIA DAS VARIÁVEIS PARA CLUSTER 1

FAMILIA	DAP	H _{com}	T _{CIS}	MOR	MOE	MEB	ME _{verde}	ME _{clim}	ME _{0%}	β_{vol}	β_{tang}	β_{rad}	β_{long}	AC	QR _{vol}	QR _{tang}	QR _{rad}
89	23,24	9,80	94,55	239,54	11815,36	426,74	0,60	0,42	0,39	9,70	6,67	2,99	0,30	2,29	0,38	0,37	0,11
11	20,86	9,73	91,35	293,78	19449,97	425,10	0,62	0,46	0,43	9,93	6,67	3,30	0,24	2,06	0,38	0,36	0,13
24	17,71	8,53	87,69	233,61	10675,68	416,71	0,58	0,49	0,45	10,34	6,73	3,71	0,12	1,84	0,39	0,35	0,14
35	19,51	9,30	88,15	289,58	10257,02	412,86	0,55	0,43	0,41	9,33	6,13	3,08	0,34	2,05	0,38	0,35	0,12
75	21,11	10,24	95,12	241,83	14059,80	409,12	0,69	0,45	0,43	9,44	6,37	3,05	0,24	2,15	0,38	0,34	0,13
108	21,47	10,34	89,39	263,13	11326,93	402,55	0,53	0,43	0,40	9,30	6,03	3,26	0,24	1,88	0,38	0,34	0,13
115	22,52	11,10	91,62	252,14	11838,59	400,63	0,58	0,45	0,41	9,38	6,35	2,83	0,28	2,31	0,38	0,34	0,12
5	22,32	10,34	83,96	251,12	12071,19	398,82	0,68	0,45	0,42	9,72	6,40	3,29	0,21	2,05	0,40	0,36	0,13
83	21,47	9,78	92,24	241,75	10033,74	395,81	0,58	0,44	0,40	9,77	6,48	3,24	0,26	2,06	0,37	0,35	0,13
79	23,79	10,20	91,51	226,55	13187,60	385,50	0,54	0,44	0,41	9,74	6,46	3,38	0,26	1,90	0,39	0,34	0,14
16	22,61	10,28	87,74	214,07	11152,49	378,72	0,63	0,41	0,38	8,91	6,27	2,89	0,32	2,21	0,38	0,36	0,12
8	21,87	10,01	90,88	232,28	12263,07	371,43	0,59	0,44	0,40	9,97	6,73	3,38	0,10	1,98	0,38	0,35	0,13

FONTE: O autor (2009)

TABELA 28 – MÉDIA DAS VARIÁVEIS PARA CLUSTER 2

FAMILIA	DAP	H _{com}	T _{CIS}	MOR	MOE	MEB	ME _{verde}	ME _{clim}	ME _{0%}	β_{vol}	β_{tang}	β_{rad}	β_{long}	AC	QR _{vol}	QR _{tang}	QR _{rad}
12	21,05	9,41	76,40	222,25	12045,03	371,06	0,66	0,39	0,35	8,18	5,50	2,72	0,20	2,05	0,32	0,28	0,10
15	20,38	9,40	81,87	248,23	12350,29	369,53	0,62	0,42	0,38	8,60	5,82	2,73	0,25	2,19	0,34	0,34	0,11
17	21,50	9,54	78,58	241,06	12792,22	383,01	0,63	0,42	0,38	9,36	6,02	3,34	0,20	1,83	0,35	0,31	0,12
19	22,42	10,64	81,12	235,14	10379,13	358,32	0,62	0,40	0,36	7,92	5,28	2,44	0,38	2,24	0,31	0,29	0,10
21	19,91	9,57	81,28	216,61	9899,42	362,65	0,45	0,40	0,36	8,09	5,44	2,54	0,30	2,27	0,34	0,32	0,10
33	19,52	9,83	60,73	250,61	14181,90	382,73	0,52	0,40	0,36	8,38	5,63	2,55	0,37	2,35	0,35	0,30	0,11
40	21,12	9,80	76,83	245,27	11844,42	368,12	0,66	0,42	0,39	9,08	6,06	3,02	0,20	2,04	0,36	0,32	0,12
53	18,95	9,74	76,83	221,71	12978,27	400,60	0,56	0,41	0,42	8,30	5,76	2,57	0,13	2,26	0,33	0,33	0,10
56	20,58	9,77	69,32	223,11	9594,15	393,94	0,43	0,40	0,37	7,84	5,23	2,75	0,27	1,93	0,35	0,29	0,12
58	20,63	9,08	74,24	222,11	11275,75	378,08	0,52	0,39	0,35	8,84	5,86	2,89	0,32	2,10	0,33	0,32	0,11
60	20,57	10,00	77,31	247,84	16327,51	377,38	0,60	0,43	0,39	9,54	6,20	3,24	0,22	2,01	0,35	0,33	0,12
74	21,85	10,66	79,18	242,82	12734,06	377,40	0,62	0,42	0,37	9,25	6,21	3,12	0,20	2,05	0,35	0,34	0,11
76	21,15	9,86	80,88	179,17	6070,48	368,00	0,57	0,39	0,36	8,88	5,93	2,88	0,33	2,10	0,35	0,33	0,11
81	20,14	10,09	79,88	252,14	13117,83	380,70	0,65	0,41	0,37	8,85	6,05	2,77	0,22	2,16	0,34	0,34	0,11
94	24,01	10,18	80,78	218,52	10529,15	351,68	0,48	0,39	0,35	8,27	5,58	2,61	0,23	2,15	0,34	0,32	0,11
98	22,19	10,56	79,47	240,59	11164,11	381,34	0,61	0,42	0,38	8,81	6,04	2,64	0,24	2,29	0,34	0,34	0,11
101	23,66	10,85	78,82	214,70	9687,20	359,82	0,59	0,40	0,36	8,28	5,45	2,73	0,29	2,04	0,34	0,29	0,11
107	19,75	9,38	82,19	263,89	14181,90	404,25	0,57	0,42	0,38	8,57	5,46	2,95	0,31	1,92	0,34	0,30	0,12
112	17,87	8,54	81,80	253,29	13466,70	405,67	0,53	0,43	0,39	8,90	5,83	2,85	0,32	2,07	0,34	0,31	0,11
113	20,38	9,40	81,01	202,67	8320,75	410,60	0,53	0,40	0,37	8,73	5,52	2,97	0,32	2,00	0,35	0,30	0,12

FONTE: O autor (2009)

TABELA 29 - MÉDIA DAS VARIÁVEIS PARA CLUSTER 3

FAMILIA	DAP	H _{com}	T _{CIS}	MOR	MOE	MEB	ME _{verde}	ME _{clim}	ME _{0%}	β_{vol}	β_{tang}	β_{rad}	β_{long}	AC	QR _{vol}	QR _{tang}	QR _{rad}
3	23,06	10,63	92,01	228,07	10946,06	376,39	0,51	0,40	0,37	8,91	5,77	3,07	0,30	2,00	0,33	0,31	0,11
4	21,91	10,03	88,06	198,08	8599,85	372,99	0,53	0,40	0,36	8,62	5,68	2,72	0,41	2,12	0,32	0,31	0,10
6	21,53	10,41	87,74	224,83	11094,33	389,36	0,53	0,42	0,38	9,03	6,10	2,76	0,38	2,25	0,34	0,33	0,11
22	21,53	10,34	85,40	224,92	10757,07	361,09	0,61	0,39	0,36	8,91	5,99	2,88	0,33	2,19	0,34	0,34	0,11
26	20,74	9,00	85,73	235,59	12861,99	391,61	0,66	0,42	0,39	9,36	6,40	2,96	0,27	2,23	0,35	0,35	0,12
29	21,85	9,97	84,58	228,17	11992,69	368,46	0,64	0,41	0,38	8,94	6,05	2,83	0,27	2,19	0,34	0,34	0,11
36	21,55	11,04	85,64	203,15	9873,26	372,25	0,55	0,39	0,35	8,87	6,03	2,73	0,31	2,24	0,34	0,35	0,11
38	22,74	9,73	86,77	243,26	8678,35	397,12	0,63	0,47	0,41	9,20	6,00	3,06	0,43	2,21	0,35	0,33	0,11
43	19,21	9,80	89,59	221,87	10073,86	394,91	0,57	0,42	0,38	8,81	6,02	2,77	0,24	2,25	0,33	0,33	0,10
47	22,13	9,83	87,99	248,51	13998,74	385,94	0,61	0,42	0,39	9,40	6,26	3,00	0,19	2,12	0,35	0,32	0,12
48	17,09	8,25	85,99	249,09	14809,89	409,12	0,59	0,43	0,39	9,31	5,96	3,09	0,24	2,02	0,35	0,31	0,12
51	20,36	9,61	85,37	216,49	12257,25	388,05	0,61	0,40	0,37	9,14	6,01	3,15	0,22	1,98	0,35	0,32	0,12
62	19,97	9,50	86,25	233,23	9463,33	390,60	0,47	0,40	0,37	8,67	5,82	2,84	0,26	2,10	0,35	0,32	0,11
63	20,58	9,07	84,09	236,29	14190,63	382,96	0,55	0,40	0,37	8,51	5,72	2,82	0,41	2,06	0,34	0,33	0,11
67	20,70	9,72	85,18	208,02	7152,01	364,72	0,62	0,41	0,37	8,44	5,69	2,72	0,21	2,11	0,34	0,32	0,11
69	20,51	9,57	91,68	204,77	8791,73	390,21	0,53	0,40	0,36	8,05	5,57	2,32	0,29	2,43	0,32	0,32	0,10
73	19,65	9,49	90,60	226,16	6349,59	380,86	0,64	0,41	0,37	8,20	5,59	2,58	0,16	2,23	0,34	0,31	0,11
80	21,43	9,50	84,97	199,33	10754,18	383,52	0,58	0,40	0,36	8,80	5,83	3,00	0,28	1,98	0,33	0,30	0,11
88	22,23	10,99	91,22	259,50	13335,87	406,35	0,63	0,44	0,40	8,58	5,65	3,03	0,38	1,95	0,34	0,29	0,11
92	18,51	10,04	89,52	235,21	10978,05	396,04	0,51	0,41	0,38	8,42	5,63	2,64	0,33	2,16	0,35	0,32	0,11
93	20,60	9,74	86,51	224,13	10315,18	369,81	0,57	0,43	0,39	8,18	5,03	2,82	0,52	1,87	0,33	0,27	0,12
95	21,11	9,95	83,17	210,88	11908,37	378,76	0,56	0,38	0,34	8,64	5,67	2,82	0,34	2,14	0,34	0,32	0,11
96	16,76	7,05	86,71	233,81	15385,54	397,34	0,52	0,41	0,38	9,03	5,87	3,16	0,22	1,89	0,36	0,31	0,13
97	21,75	10,06	84,61	235,84	11140,84	371,34	0,58	0,40	0,37	8,89	5,70	2,94	0,29	2,09	0,35	0,32	0,12
99	20,06	9,12	86,51	231,13	13110,85	394,45	0,54	0,41	0,38	9,03	5,84	3,09	0,28	1,99	0,34	0,31	0,12
102	22,08	10,70	85,90	245,65	14164,46	398,70	0,58	0,43	0,40	9,01	6,00	3,43	0,23	1,75	0,36	0,31	0,13
104	23,31	10,39	88,08	235,33	13180,62	371,17	0,58	0,40	0,36	8,85	6,00	2,98	0,24	2,00	0,35	0,32	0,12
106	19,65	9,56	86,54	242,46	10896,62	399,33	0,65	0,43	0,39	8,73	5,64	3,04	0,24	2,05	0,34	0,29	0,11
117	20,79	9,74	83,11	199,80	9919,76	387,37	0,61	0,39	0,36	8,79	6,00	2,79	0,23	2,20	0,34	0,34	0,11
118	24,66	11,10	85,50	242,85	13606,26	374,18	0,58	0,39	0,35	8,53	5,74	2,81	0,16	2,11	0,33	0,32	0,11
120	15,09	7,30	87,52	227,69	8721,96	382,83	0,48	0,43	0,39	8,59	5,47	3,12	0,31	1,79	0,34	0,28	0,12

FONTE: O autor (2009)

TABELA 30 - MÉDIA DAS VARIÁVEIS PARA CLUSTER 4

FAMILIA	DAP	H _{com}	T _{CIS}	MOR	MOE	MEB	ME _{verde}	ME _{clim}	ME _{0%}	β_{vol}	β_{tang}	β_{rad}	β_{long}	AC	QR _{vol}	QR _{tang}	QR _{rad}
1	20,98	10,49	94,99	222,47	11,606,03	375,82	0,61	0,40	0,36	8,82	6,10	2,51	0,26	2,54	0,34	0,36	0,11
7	19,78	10,08	92,11	234,76	14,827,33	398,87	0,60	0,41	0,38	8,42	5,94	3,06	0,17	1,98	0,36	0,34	0,12
14	21,75	10,19	87,49	226,36	11,617,65	393,83	0,61	0,42	0,39	9,35	6,35	3,08	0,18	2,12	0,36	0,35	0,12
23	20,60	10,44	92,79	246,03	13,403,91	404,42	0,58	0,43	0,39	9,54	6,27	3,17	0,26	1,99	0,36	0,34	0,12
27	20,48	9,46	91,82	226,55	11,617,65	391,17	0,67	0,44	0,40	9,75	6,40	3,17	0,32	2,12	0,36	0,34	0,11
28	22,01	10,48	91,12	256,27	11,643,81	395,53	0,61	0,43	0,39	9,18	6,26	2,86	0,26	2,26	0,36	0,35	0,12
37	22,61	10,22	91,43	235,24	12,812,56	372,42	0,61	0,39	0,38	9,19	6,22	2,88	0,24	2,23	0,34	0,34	0,11
41	20,48	9,74	90,76	253,48	13,719,64	383,35	0,53	0,40	0,36	8,94	6,04	2,82	0,34	2,18	0,35	0,34	0,11
42	20,51	9,79	89,75	223,11	12,097,36	389,70	0,60	0,42	0,39	9,48	6,07	3,28	0,29	1,91	0,36	0,32	0,13
45	19,40	8,87	90,22	260,55	11,373,43	371,46	0,52	0,41	0,38	9,02	6,17	2,76	0,22	2,30	0,36	0,35	0,11
52	20,48	9,27	87,35	237,63	11,635,09	407,77	0,59	0,43	0,39	8,92	6,18	2,80	0,32	2,26	0,36	0,34	0,12
55	20,85	9,70	89,49	237,53	11,608,93	394,57	0,65	0,44	0,40	8,80	6,14	3,18	0,27	1,98	0,36	0,34	0,12
57	20,54	9,22	90,90	230,62	12,920,12	378,37	0,56	0,40	0,37	8,82	5,97	2,88	0,21	2,11	0,35	0,33	0,12
59	20,80	9,39	88,57	219,96	8,198,64	392,58	0,57	0,41	0,38	9,22	6,08	3,02	0,42	2,08	0,36	0,33	0,12
64	18,69	9,04	90,13	258,64	15,327,38	420,45	0,56	0,43	0,40	9,78	6,17	3,66	0,19	1,69	0,36	0,32	0,13
68	20,29	11,00	93,92	263,41	11,408,32	401,65	0,63	0,42	0,38	8,89	5,88	3,00	0,20	2,01	0,34	0,31	0,12
70	23,09	10,60	94,49	240,81	14,908,72	362,51	0,74	0,40	0,37	9,10	6,04	3,06	0,21	1,99	0,35	0,32	0,12
72	18,08	8,59	89,52	205,73	10,815,23	400,57	0,64	0,44	0,40	9,54	6,32	3,21	0,23	2,06	0,35	0,35	0,11
84	18,38	9,01	92,92	242,97	12,582,89	381,27	0,53	0,40	0,37	8,55	5,66	2,82	0,30	2,03	0,35	0,32	0,12
85	20,41	9,39	87,38	216,80	11,059,44	383,35	0,49	0,40	0,37	9,37	6,30	2,99	0,25	2,14	0,35	0,33	0,12
86	22,26	10,05	94,55	252,45	10,933,85	405,67	0,62	0,43	0,40	9,23	6,05	3,12	0,28	1,99	0,36	0,32	0,12
91	21,92	10,50	91,84	232,51	10,319,82	370,38	0,52	0,41	0,38	9,25	6,06	3,11	0,30	2,02	0,36	0,34	0,12
103	19,55	9,82	91,88	254,15	11,012,94	401,65	0,56	0,43	0,39	9,22	6,17	2,95	0,31	2,19	0,36	0,34	0,12
110	21,72	9,31	93,11	202,10	10,919,89	378,54	0,63	0,42	0,39	9,51	6,35	3,14	0,24	2,07	0,35	0,33	0,11
119	21,24	10,51	90,70	246,56	10,536,13	402,95	0,59	0,42	0,39	9,35	6,31	2,90	0,32	2,22	0,36	0,35	0,11

FONTE: O autor (2009)

TABELA 31 - MÉDIA DAS VARIÁVEIS PARA CLUSTER 5

FAMILIA	DAP	H _{com}	T _{cis}	MOR	MOE	MEB	ME _{verde}	ME _{clim}	ME _{0%}	β_{vol}	β_{tang}	β_{rad}	β_{long}	AC	QR _{vol}	QR _{tang}	QR _{rad}
10	22,61	10,48	99,49	230,90	10,480,31	374,97	0,61	0,40	0,37	8,57	5,81	2,57	0,35	2,31	0,35	0,34	0,11
18	19,97	9,12	99,08	230,37	13,292,27	377,29	0,60	0,39	0,36	8,37	5,71	2,47	0,29	2,29	0,33	0,33	0,10
25	19,55	9,36	99,60	259,02	9,506,94	402,50	0,57	0,43	0,40	9,05	5,79	3,08	0,21	1,89	0,35	0,31	0,12
32	20,38	9,36	99,12	222,60	11,001,29	401,82	0,70	0,43	0,39	9,26	6,17	3,02	0,25	2,06	0,35	0,33	0,12
44	19,98	9,25	101,63	228,07	9,315,05	392,46	0,57	0,43	0,39	8,59	5,57	3,13	0,20	1,94	0,34	0,29	0,12
46	20,93	9,50	96,39	216,87	12,082,81	382,97	0,67	0,40	0,37	8,95	6,27	2,76	0,21	2,24	0,35	0,35	0,10
50	19,10	9,41	116,35	270,48	15,699,53	407,18	0,58	0,45	0,41	9,32	5,87	3,45	0,23	1,79	0,35	0,30	0,12
54	19,56	9,50	106,93	245,78	12,408,45	401,19	0,60	0,42	0,38	9,36	6,09	3,21	0,27	1,96	0,35	0,32	0,12
65	18,79	9,35	100,65	212,67	10,257,02	363,07	0,61	0,38	0,35	8,48	5,89	2,59	0,26	2,28	0,34	0,34	0,11
82	19,71	9,83	97,96	255,96	13,562,65	403,29	0,61	0,45	0,41	9,17	5,82	3,31	0,26	1,80	0,36	0,31	0,13
90	19,11	9,88	100,78	255,96	13,222,49	404,56	0,54	0,43	0,39	9,91	6,57	3,49	0,10	1,95	0,38	0,35	0,13
100	21,85	10,28	101,41	246,32	12,533,45	403,18	0,62	0,44	0,40	9,00	5,96	3,18	0,23	1,89	0,37	0,33	0,13
114	20,95	9,42	96,26	264,85	11,626,37	398,48	0,61	0,42	0,39	8,83	5,93	2,85	0,24	2,14	0,35	0,32	0,11

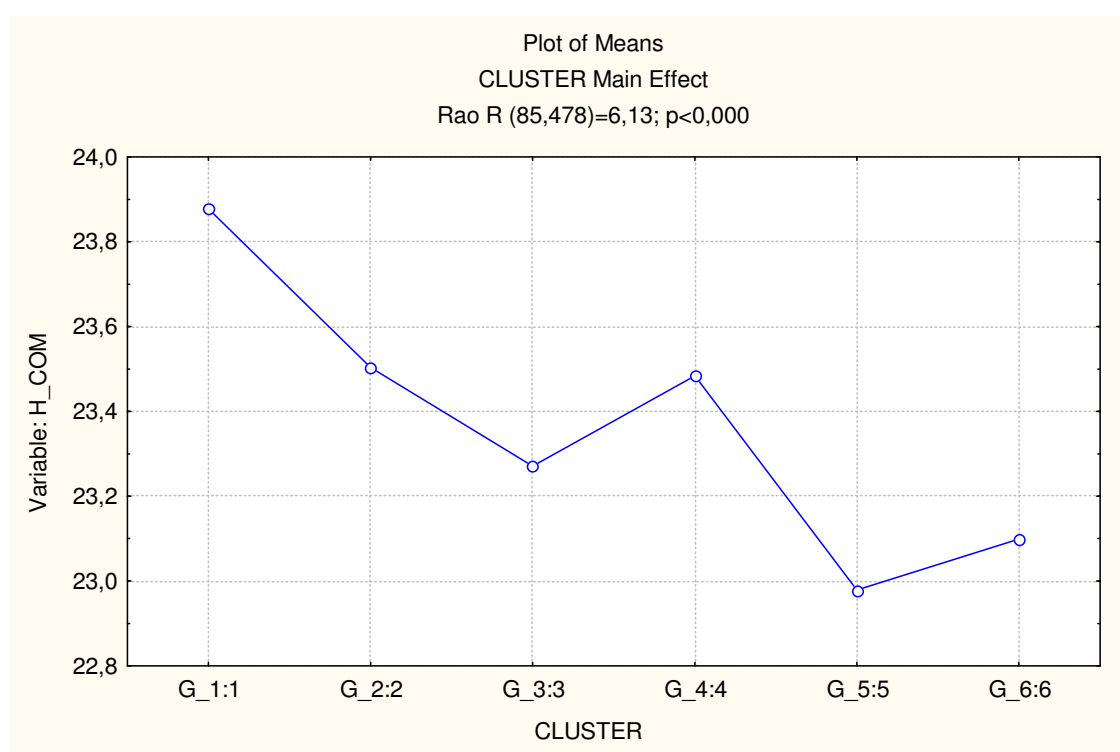
FONTE: O autor (2009)

TABELA 32 - MÉDIA DAS VARIÁVEIS PARA CLUSTER 6

FAMILIA	DAP	H _{oom}	T _{CIS}	MOR	MOE	MEB	ME _{verde}	ME _{clim}	ME _{0%}	β_{vol}	β_{tang}	β_{rad}	β_{long}	AC	QR _{vol}	QR _{tang}	QR _{rad}
2	21,47	20,72	84,12	224,83	12,350,29	374,12	0,61	0,41	0,38	9,50	6,54	3,03	0,16	2,17	0,35	0,36	0,12
9	20,51	19,80	83,27	249,95	17,243,31	382,56	0,54	0,40	0,37	8,89	6,46	2,86	0,16	2,31	0,37	0,36	0,12
13	21,56	19,07	84,86	230,37	10,919,89	382,56	0,57	0,42	0,39	9,32	6,12	3,11	0,26	2,03	0,36	0,32	0,13
20	20,95	19,16	84,97	317,09	11,896,75	385,50	0,57	0,44	0,40	9,16	5,92	3,24	0,22	1,88	0,37	0,33	0,13
30	21,66	19,28	85,96	233,23	13,292,27	361,52	0,54	0,40	0,37	8,90	6,21	2,65	0,22	2,43	0,35	0,35	0,11
31	19,23	17,72	78,00	267,68	11,257,15	396,42	0,65	0,44	0,40	9,51	6,28	3,25	0,26	1,98	0,36	0,33	0,13
34	19,02	17,99	82,58	250,61	13,117,83	379,56	0,63	0,43	0,39	9,28	6,21	3,04	0,21	2,09	0,37	0,34	0,12
39	20,95	18,38	80,88	222,47	11,140,84	381,99	0,54	0,42	0,39	9,22	6,23	2,95	0,17	2,16	0,37	0,35	0,12
49	20,64	19,27	86,29	267,23	7,204,34	393,72	0,47	0,41	0,38	8,74	5,79	2,90	0,24	2,02	0,36	0,33	0,12
61	18,73	16,74	79,38	262,33	13,129,44	388,45	0,59	0,44	0,40	9,31	6,40	3,26	0,19	2,01	0,38	0,36	0,13
66	20,06	17,06	80,29	221,43	9,705,80	367,72	0,66	0,41	0,37	8,88	6,17	2,67	0,24	2,41	0,35	0,35	0,11
71	20,77	17,39	83,02	216,61	9,326,67	391,34	0,64	0,45	0,41	9,41	6,09	3,14	0,34	1,97	0,36	0,34	0,12
77	20,15	19,55	85,03	236,86	11,879,31	401,31	0,60	0,44	0,40	9,05	6,11	2,94	0,23	2,21	0,37	0,35	0,12
78	20,23	19,15	80,45	241,06	12,664,28	394,09	0,57	0,43	0,39	9,88	6,65	3,22	0,24	2,11	0,37	0,36	0,12
87	20,86	17,15	83,37	220,91	13,515,55	386,37	0,58	0,42	0,39	9,92	5,98	3,03	0,24	2,04	0,34	0,36	0,11
105	18,66	16,80	81,41	242,59	14,199,35	390,38	0,66	0,43	0,39	9,57	6,35	3,23	0,23	2,00	0,37	0,34	0,13
109	20,28	18,04	79,10	247,08	13,021,88	386,52	0,58	0,41	0,37	9,22	6,18	3,11	0,18	2,10	0,36	0,34	0,12
111	19,84	18,68	83,63	262,08	15,472,75	382,05	0,64	0,42	0,39	9,56	6,65	3,11	0,10	2,20	0,36	0,37	0,12
116	21,18	20,29	84,81	231,04	12,516,01	373,38	0,61	0,42	0,38	9,45	6,55	2,90	0,19	2,27	0,36	0,37	0,12

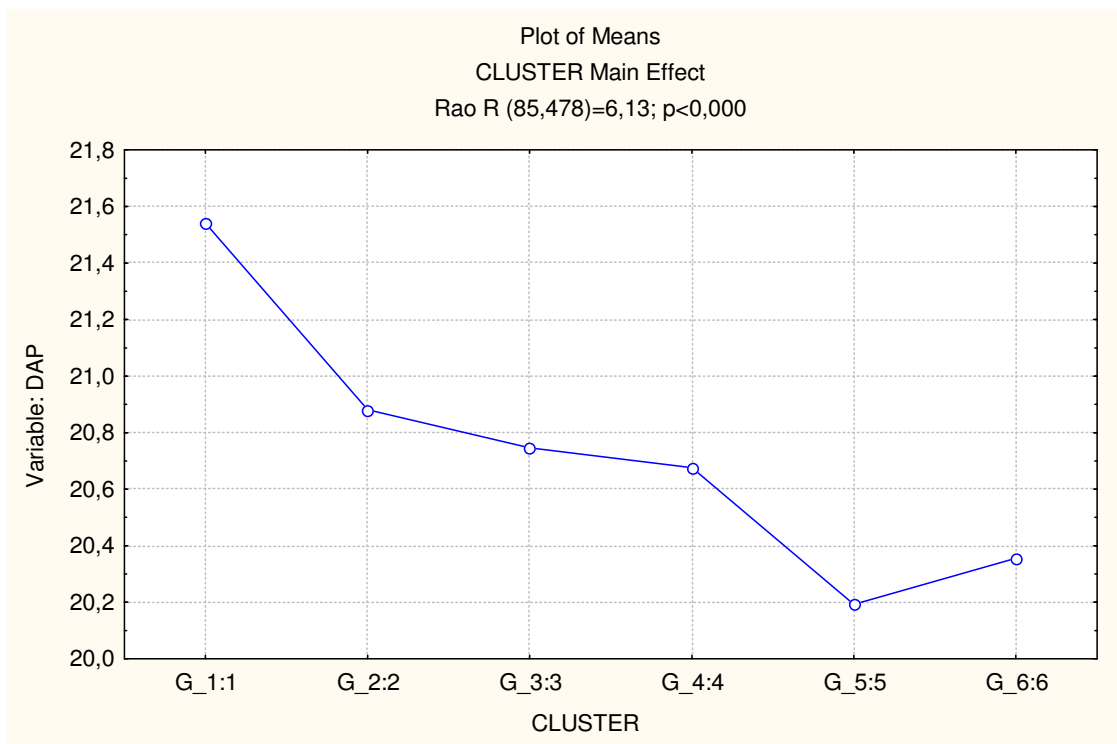
FONTE: O autor (2009)

9.2 Gráficos dos efeitos principais por variável analisada



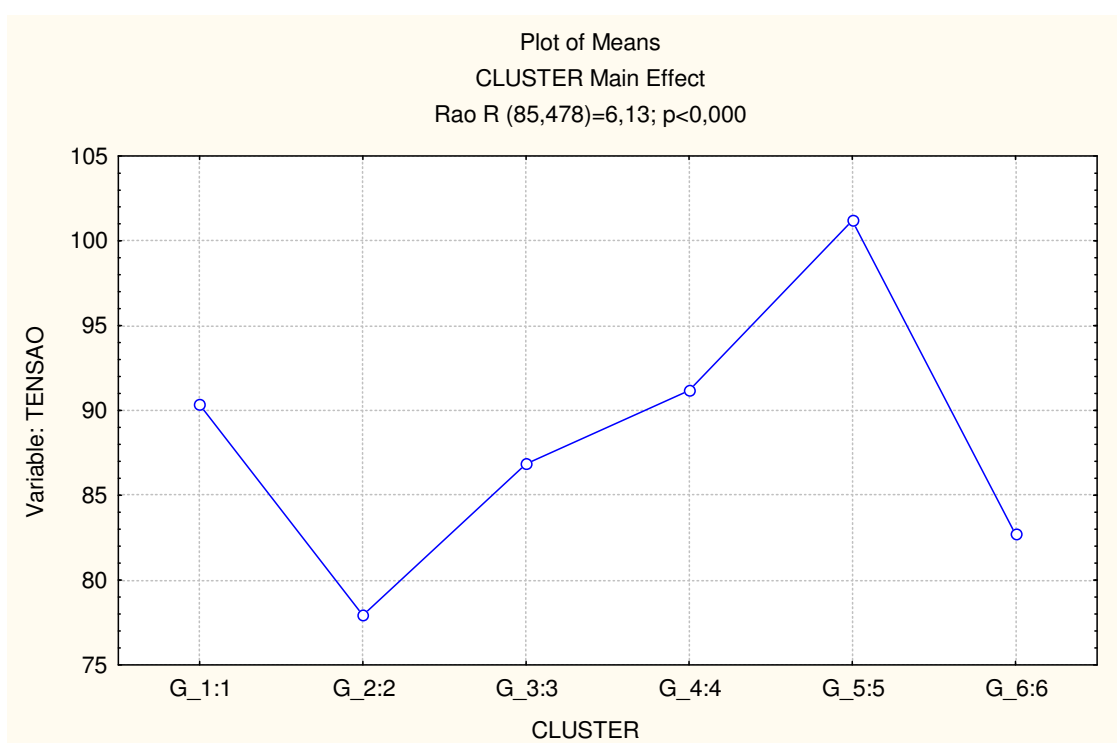
NOTA: H_{com} = altura comercial da árvore

FIGURA 11. PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER PARA H_{COM}



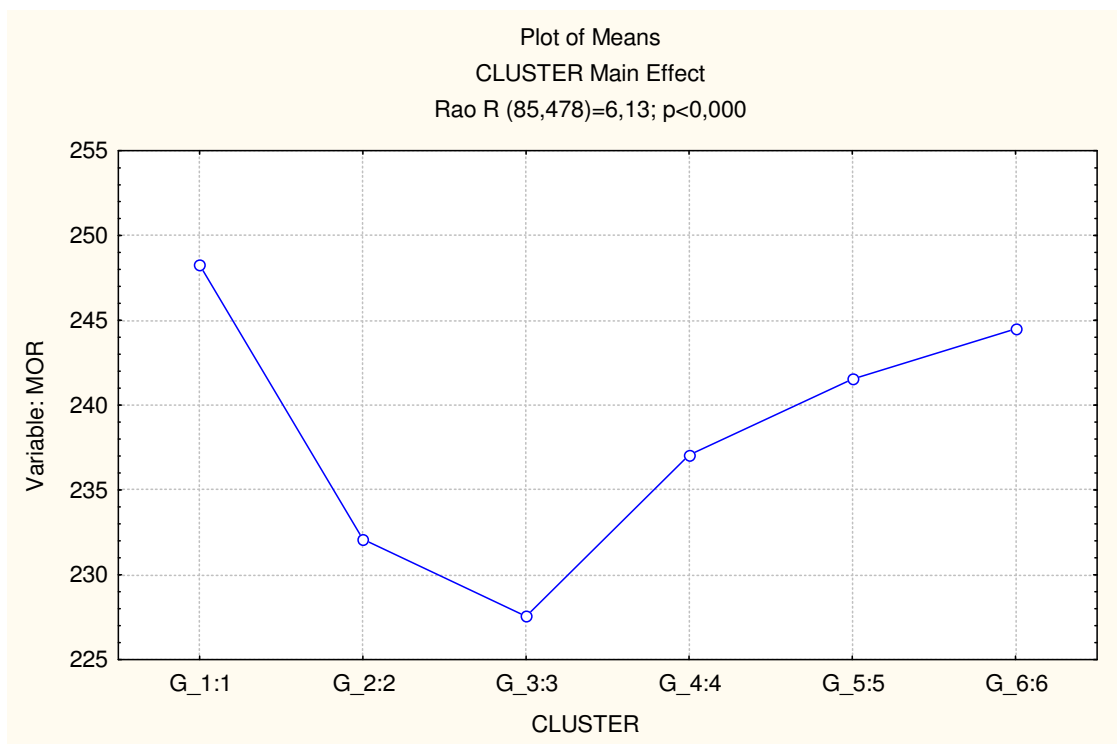
NOTA: DAP = diâmetro a altura do peito

FIGURA 12. PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER PARA DAP



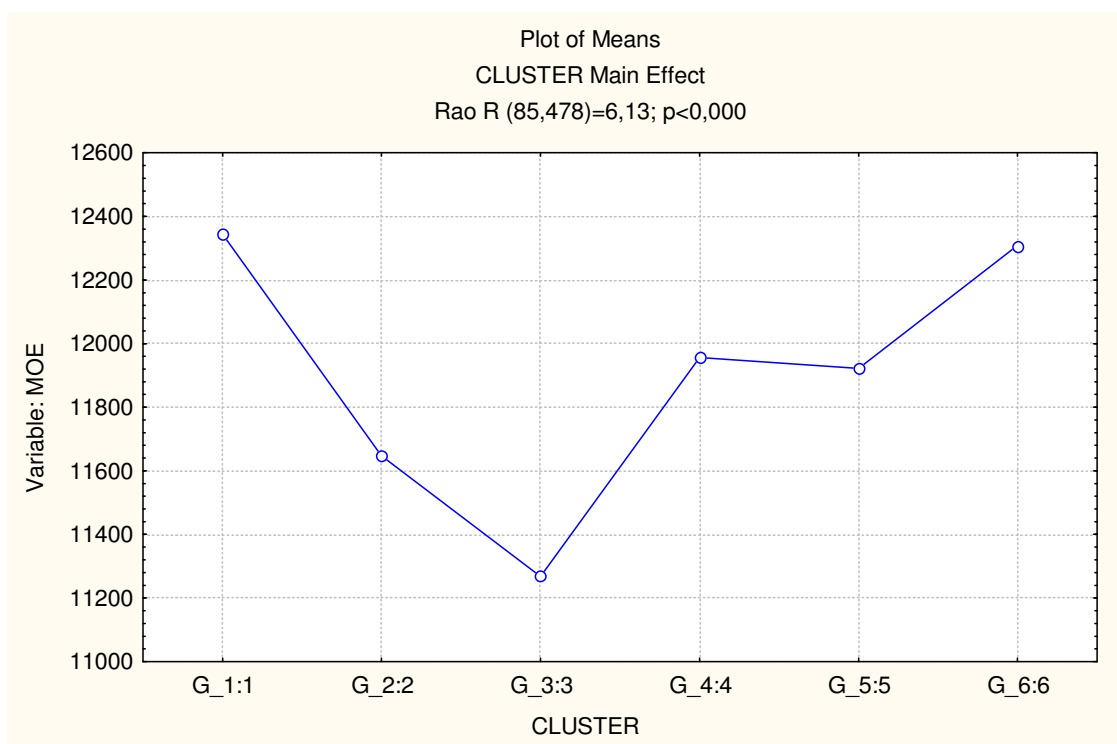
NOTA: T_{CIS} = tensão de cisalhamento

FIGURA 13. PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER PARA TENSÃO (T_{CIS})



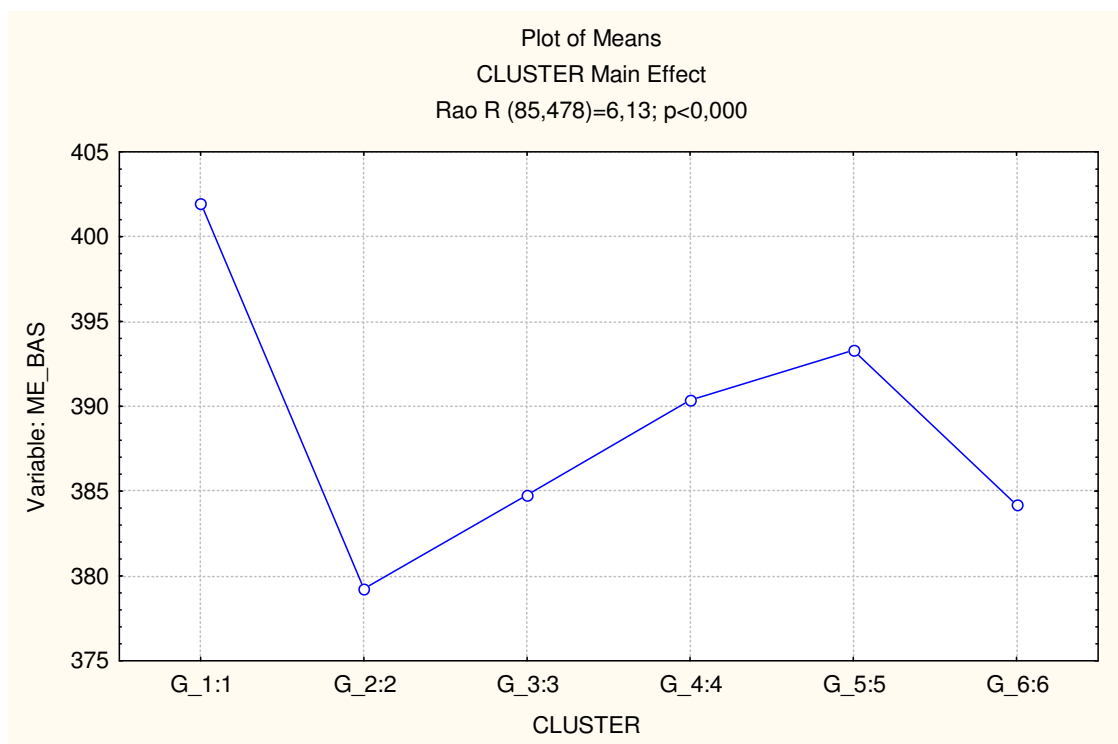
NOTA: MOR = módulo de elasticidade

FIGURA 14. PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER PARA MOR



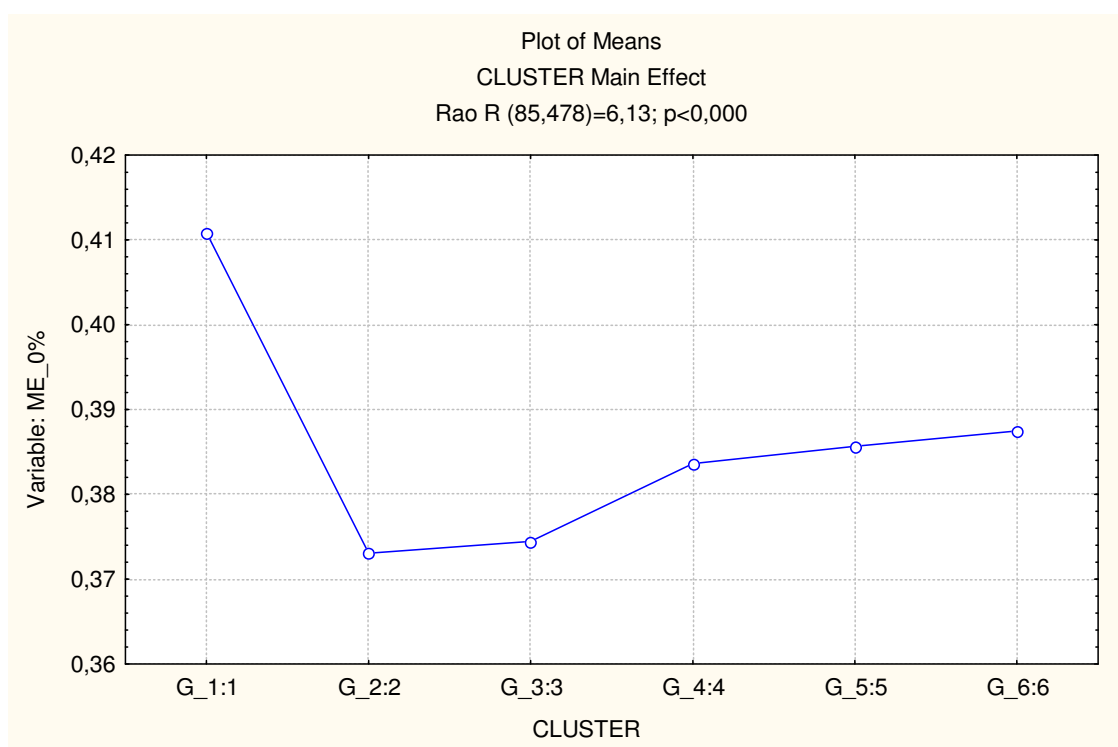
NOTA: MOE = módulo de elasticidade

FIGURA 15. PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER PARA MOE



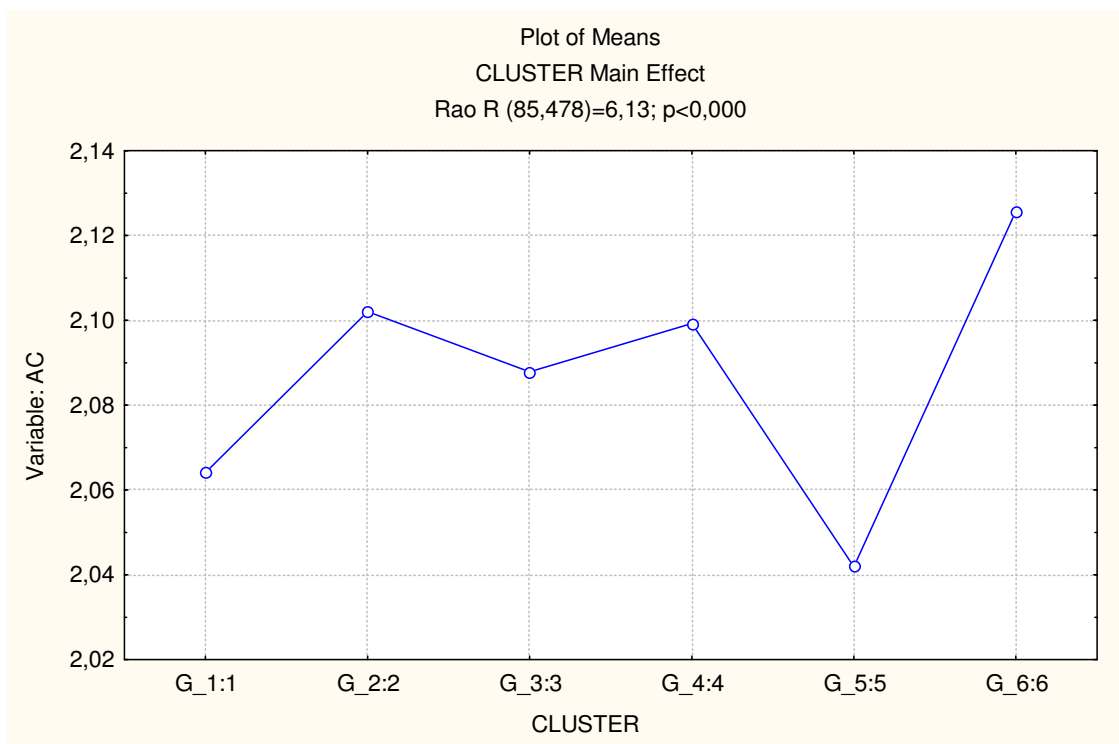
NOTA: MEB = MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

FIGURA 16. PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER PARA MEB



NOTA: ME_{0%} = MASSA ESPECÍFICA SECA

FIGURA 17. PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER PARA ME_{0%}



NOTA: AC = anisotropia de contração

FIGURA 18. PRINCIPAL EFEITO: CLUSTER PARA AC