

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO NA
DENSIDADE, RESISTÊNCIA E RIGIDEZ DA MADEIRA DE *Pinus taeda* L.**

RICARDO RALL

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura)

BOTUCATU - SP

Junho – 2006

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO NA
DENSIDADE, RESISTÊNCIA E RIGIDEZ DA MADEIRA DE *Pinus taeda* L.**

RICARDO RALL

Orientador: Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura)

BOTUCATU - SP

Junho - 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

R163i Rall, Ricardo, 1968-
Influência das características dos anéis de crescimento
na densidade, resistência e rigidez da madeira de *Pinus*
taeda L. / Ricardo Rall. - Botucatu : [s.n.], 2006.
viii, 75 f. : il., gráfs, tabs.

Dissertação (mestrado)-Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2006

Orientador: Adriano Wagner Ballarin

Inclui bibliografia.

1. *Pinus taeda*. 2. Madeira - Classificação. 3. Madeira -
Qualidade. 4. Madeira - Densidade. 5. Madeira serrada. I.
Ballarin, Adriano Wagner. II. Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade
de Ciências Agronômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

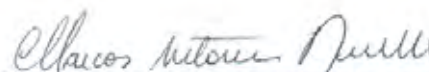
TÍTULO: "INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO
NA DENSIDADE, RESISTÊNCIA E RIGIDEZ DA MADEIRA DE *Pinus
taeda L.*"

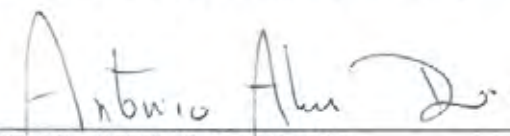
ALUNO: RICARDO RALL

ORIENTADOR: PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN

PROF. DR. MARCOS ANTONIO DE REZENDE

PROF. DR. ANTONIO ALVES DIAS

Data da Realização: 14 de junho de 2006.

Dedico este trabalho

A minha esposa Vera e aos meus filhos Ricardo, Lúgia e Luísa,
pelo amor, dedicação,
paciência e tanto carinho que me
ajudaram a realizar mais esse objetivo.

Aos meus pais, por tudo que fizeram
e ensinaram: amor, carinho, trabalho e educação.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Adriano Wagner Ballarin, por toda a paciência, amizade, apoio e orientação nos bons e maus momentos que passamos durante a elaboração deste trabalho.

Aos professores Dr. Hernando Alfonso Lara Palma e Dr. Marcos Antônio de Rezende por participarem de minha banca de qualificação e pelas excelentes sugestões e críticas dadas ao trabalho.

Ao professor Dr. Antônio Alves Dias por participar de minha banca de defesa e pelas pertinentes sugestões dadas ao trabalho.

Ao professor Dr. Carlos Roberto Padovani pelo importante auxílio na análise estatística.

Ao amigo e professor Dr. Ângelo Catâneo pelo apoio no difícil início do curso de mestrado.

À Faculdade de Medicina de Botucatu, especialmente à Sra. Eliane Sako, pela compreensão e incentivo no desenvolvimento deste trabalho.

Ao funcionário Ailton de Lima Lucas, do Laboratório de Ensaio de Materiais, do departamento de Engenharia Rural, pela colaboração na execução da parte técnica.

Aos funcionários Soler e Sílvia, da serraria da FCA, pelo apoio técnico na preparação dos corpos-de-prova.

Ao Dr. Lúcio André de Castro Jorge, pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, pela colaboração no processamento digital das imagens.

Às bibliotecárias da FCA e a Sra. Luciana, da biblioteca de Rubião Júnior, pela revisão bibliográfica e elaboração da ficha catalográfica.

À Seção de Pós-Graduação da FCA, por todo o apoio.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu – UNESP que me acolheu como aluno de graduação, em 1987 e me concedeu, em 2005, a oportunidade de realizar o curso de mestrado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	V
LISTA DE FIGURAS	VII
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO DA LITERATURA	7
4.1 A madeira da espécie <i>Pinus taeda</i> L.	9
4.2 Anatomia das coníferas	12
4.3 Propriedades físicas e mecânicas da madeira	17
4.4 Produtos compostos da madeira.....	20
4.5 Métodos de avaliação da qualidade da madeira para fins estruturais	21
4.6 Processamento digital de imagens	26
5 MATERIAL E MÉTODOS	29
5.1 Procedência e desdobro do material para análise	29
5.2 Ensaio físico-mecânicos nos corpos-de-prova	30
5.3 Processamento digital de imagens da seção transversal próxima à superfície de ruptura dos corpos-de-prova	32
5.3.1 Cálculo do número de anéis por polegada com o software Imagetool	35
5.3.2 Cálculo da inclinação dos anéis de crescimento com o software Imagetool	36
5.3.3 Cálculo da área com a utilização do software Idrisi 32 ...	37
5.4 Análise dos resultados	42
5.4.1 Etapa 1 da Análise	43
5.4.2 Etapa 2 da Análise	44
5.4.3 Etapa 3 da Análise	44
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
7. CONCLUSÕES	59
8. REFERÊNCIAS	62
APÊNDICE	67

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 – Valores médios de madeiras coníferas do grupo <i>Southern Pine</i> , nativas dos Estados Unidos.	10
Tabela 2 - Valores médios de madeiras coníferas nativas e de florestamento.	11
Tabela 3 - Classes de resistência para a madeira serrada.	19
Tabela 4 - Classificação de madeiras de coníferas quanto à classe de densidade, em função do número de anéis por polegada e da proporção de madeira de inverno (lenho tardio).	22
Tabela 5 – Valores representativos das principais características geométricas e mecânicas dos corpos- de- provas.	46
Tabela 6 – Quantidade de corpos-de-prova e percentual no lote.	47
Tabela 7 - Classificação da madeira em grupos, a partir do número de anéis por polegada e da proporção de madeira de lenho tardio.	47
Tabela 8 - Quantidade (absoluta e percentual) de corpos-de-prova por grupo e classe.	48
Tabela 9- Média e desvio-padrão dos grupos de estudo e respectivo resultado do coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis.	50
Tabela 10 - Média e desvio padrão das variáveis físico-mecânicas da madeira segundo grupos de classificação.	51
Tabela 11 – Correlação de Pearson entre as grandezas físico-mecânicas.	51
Tabela 12 - Medidas descritivas das variáveis estudadas para os grupos e teste de comparações de médias.	52
Tabela 13 - Modelo de regressão múltipla do desempenho físico-mecânico.	53
Tabela 14 – Resultados dos contrastes entre as associações dos grupos G1 a G5 originais, quando comparados em termos de densidade e resistência e rigidez à flexão dos seus corpos-de-prova.	55
Tabela 15 - Medidas descritivas das variáveis estudadas para a dissociação do grupo G1.	57

Tabela 16 - Quantidade (absoluta e percentual) de corpos-de-prova por grupo e classe.	57
Tabela 17 – Proposta de classificação da madeira em grupos, a partir do número de anéis por polegada e da proporção de madeira de inverno.	58

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Mapa da regiões potencialmente aptas para o cultivo de <i>Pinus taeda</i> e <i>P.elliotti</i> no Brasil.	9
Figura 2 – Estruturas do caule.	13
Figura 3 – Madeira juvenil e madeira adulta.	14
Figura 4 - Variações das propriedades físico-mecânicas na madeira juvenil e adulta. ..	15
Figura 5 - Exemplo de linha radial em peças contendo medula.	21
Figura 6 - Exemplo de linha radial em peças sem medula.	21
Figura 7 – Madeiras densas.	22
Figura 8 – Madeiras não-densas.	22
Figura 9 – Diagrama definindo as madeiras em classes de densidade: densa, não-densa e não estrutural.	23
Figura 10 - Efeito do nó na resistência da madeira.	24
Figura 11 - Nó de borda.	25
Figura 12 - Corpos-de-prova descartados em função da incidência severa de nós.	30
Figura 13 - Corpo-de-prova descartado por apresentar medula.	30
Figura 14 - Corpos-de-prova descartados em função da caracterização de desarranjo severo das fibras.	30
Figura 15 – Equipamento utilizado nos ensaios de flexão estática.	31
Figura 16 – Identificação da forma de ruptura.	32
Figura 17 – Ruptura fora do terço central.	32
Figura 18 - Prancha modelo com os corpos-de-prova.	34
Figura 19 – Calibração para a realização das medições com o software ImageTool®...	35
Figura 20 – Medição da distância dos anéis de crescimento com o software ImageTool®.	36
Figura 21 – Medição do ângulo de inclinação dos anéis com o software ImageTool®.	37
Figura 22 – Importação do software Idrisi 32®.	38
Figura 23 – Identificação do padrão da imagem importada.	38

Figura 24 – Identificação de classes desejadas.	39
Figura 25 – Identificação das áreas em “claro” e “escuro”.	39
Figura 26 – Classificação supervisionada no software Idrisi 32®.	40
Figura 27 – Classificação supervisionada no software Idrisi 32® e as classes definidas.	40
Figura 28 – Conversão de toda a área do corpo-de-prova.	41
Figura 29 – Opção cálculo da área no software Idrisi 32®.	41
Figura 30 – Resultados do cálculo da área no software Idrisi 32®.	42
Figura 31 – Diagrama com a divisão adotada para os grupos, a partir das classes de densidade do anexo normativo.	43
Figura 32 – Dispersão dos valores obtidos em cada corpo-de-prova para o número de anéis por polegada e proporção de lenho tardio.	49
Figura 33 – Dissociação do grupo G1 em G1A e G1B.	56
Figura 34 – Definição final das novas classes e dispersão dos valores obtidos em cada corpo-de-prova.	58

1. RESUMO

A utilização de *Pinus* (de reflorestamentos) na indústria madeireira brasileira tem sido crescente nos últimos anos. A produção de madeira em ciclos mais curtos tem tornado comum o decréscimo constante na oferta de árvores adultas, com grandes diâmetros.

As árvores, provenientes de plantios em ciclos mais curtos, revelam uma porcentagem relativa de madeira juvenil cada vez maior. Do ponto de vista das propriedades físico-mecânicas (densidade, resistência e rigidez) a madeira juvenil apresenta valores inferiores em relação à madeira adulta.

Levando-se em conta esse problema e o projeto de revisão do anexo G da norma NBR 7190 (ABNT, 1997), que trata da classificação visual de madeira serrada de coníferas, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência das características dos anéis de crescimento (número de anéis por polegada, proporção de lenho tardio e sua disposição na peça) na densidade, resistência e rigidez à flexão da madeira de *Pinus taeda* L. Tem ainda como objetivo secundário aplicar a técnica de visão artificial (análise computadorizada de imagens digitais) na mensuração dessas características.

O material utilizado para o estudo foi a madeira extraída de seis árvores de *Pinus taeda* com 37 anos de idade, provenientes do Horto Florestal de Manduri – SP. As árvores foram desdobradas em pranchas e tábuas, que originaram 656 corpos-de-prova, nos quais foram mensuradas as densidades, avaliadas a resistência e rigidez à flexão e, finalmente, por meio do processamento digital de imagens, foram medidos os ângulos de

inclinação dos anéis, o número de anéis por polegada e a proporção de lenho tardio na seção transversal íntegra mais próxima da ruptura à flexão.

Os resultados obtidos revelaram uma grande correlação entre as características mensuradas no lenho (número de anéis por polegada e proporção de lenho tardio, analisadas conjuntamente) e seu desempenho físico-mecânico. Mostraram ainda que, com pequenas alterações, é pertinente a adoção das classes de densidade sugeridas pelo Anexo G do código normativo, na separação de madeiras de diferentes desempenhos físico-mecânicos.

Palavras chave: madeira, *Pinus taeda* L., classificação, qualidade, densidade, madeira serrada.

INFLUENCE OF THE CHARACTERISTICS OF RINGS OF GROWTH IN THE DENSITY, RESISTANCE AND RIGIDITY OF *Pinus taeda* L. WOOD. Botucatu, 2006. 76p. Dissertação (Mestrado em Energia da Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: RICARDO RALL

Adviser: ADRIANO WAGNER BALLARIN

2. SUMMARY

The use of *Pinus* (from reforestation) in the Brazilian wood industry has increased in the last years. The wood production in shorter cycles has become common the constant decrease in the offering of mature wood, with bigger diameters. The trees, coming from short cycle plantation reveal larger relative percentage of juvenile wood, which presents lower mechanical performance (MOR, MOE and density, e.g.)

Considering these facts and the project of revision of the Brazilian code for wood and wooden structures (specifically the appendix G - Visual classification of sawed wood from conifers) the objective of this work was to evaluate the influence of the characteristics of the growth rings (number of rings per inch, percentage of mature wood and the disposition of growth rings in the piece) in the density, MOR and MOE of the wood of *Pinus taeda* L. Aiming this purpose it was also evaluated the opportunity of using artificial vision (computerized analysis of digital images) in the measurement of the growth rate characteristics.

The experimental program was performed using wood from six trees of *Pinus taeda* with 37 years old, from Horto Florestal of Manduri - SP (latitude 23°00' south, longitude 49°19' west and altitude 700m). Trees were sawed in boards, producing 656 specimens that were tested in flexure (MOR and MOE).. After mechanical tests, using digital images analysis, the inclination of growth rings, the number of growth rings per inch and the percentage of latewood in the complete transverse section closer to the rupture surface were evaluated.

The results showed a great correlation among the growth characteristics of wood (number of growth rings per inch and percentage of late wood, analyzed simultaneously) and its physic-mechanical properties. It was yet showed that with little alterations, it is pertinent the adoption of the density classes suggested by the Appendix G of the Brazilian code in the classification of wood of conifers in terms of density and mechanical performance (MOR and MOE).

Keywords: wood, *Pinus taeda* L., classification, quality, density, sawn wood, lumber.

3. INTRODUÇÃO

A utilização de *Pinus* (de reflorestamentos) na indústria madeireira brasileira tem sido crescente nos últimos anos. As estimativas indicam que do volume de madeira serrada produzida no país, estimado em aproximadamente 22 milhões de m³, mais de 35% é formado de madeira de *Pinus* (OLIVEIRA, 2005).

A produção de madeira em ciclos mais curtos tem tornado comum o decréscimo constante na oferta de árvores adultas com grandes diâmetros. Para essas árvores de ciclos curtos a porcentagem relativa de madeira juvenil é cada vez maior.

A largura dos anéis de crescimento de algumas coníferas crescidas no Brasil condiciona de forma marcante o seu desempenho físico-mecânico. O novo anexo G – Classificação visual de madeira serrada de coníferas – do projeto de revisão da NBR 7190/97 – Projeto de estruturas de madeira, ora em estudo, baseado, sobretudo em experiências internacionais, já prescreve a largura dos anéis de crescimento como importante padrão de qualidade dessa espécie. Quanto mais largos os anéis de crescimento, menores são as resistências mecânicas esperadas.

Entretanto, é de fundamental importância o estabelecimento de parâmetros nacionais para esta questão. Considerando-se a experiência de pesquisa já acumulada pelo Laboratório de Ensaio de Materiais, do Departamento de Engenharia Rural, com o *Pinus taeda* e a questão da juvenilidade de sua madeira, fica evidente a oportunidade do desenvolvimento de pesquisa dessa natureza nesse centro.

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a influência das características dos anéis de crescimento (número de anéis por polegada, ângulo de inclinação e proporção de lenho tardio) na densidade, resistência e rigidez à flexão da madeira de *Pinus taeda* L em corpos-de-prova isentos de defeitos.

Tem, ainda, os seguintes objetivos secundários:

- Aplicar a técnica de visão artificial (processamento digital de imagens) na mensuração das características dos anéis de crescimento.
- Dar suporte técnico as novas prescrições normativas do Anexo G, do projeto de revisão da NBR 7190/97, avaliando a adequação das classes de densidade estabelecidas, aos dados deste trabalho.
- Auxiliar na definição de categorias de diferentes desempenhos mecânicos da madeira de *Pinus*, em termos de número de anéis e proporção de lenho tardio.

4. REVISÃO DE LITERATURA

Segundo o Instituto Florestal (2005), o sistema de colonização do estado de São Paulo, bem como de toda a região sul brasileira seguiu um trinômio clássico mata-agricultura-pastagem. Uma vez esgotado o solo, novas áreas eram desmatadas, provocando a extinção de quase toda a cobertura florestal nativa do interior dos estados, que era utilizada basicamente para gerar energia (lenha e carvão vegetal) ou suprir a indústria (madeira para construções e para produção de celulose.)

Entre as espécies mais afetadas nesse processo de desmatamento destaca-se o Pinheiro brasileiro *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktzel., cuja madeira abastecia o mercado interno e era um dos principais produtos da pauta de exportações do Brasil.

Na tentativa de suprir a demanda de madeiras de fibra longa, com suprimento comprometido pela extinção cada vez maior do pinheiro brasileiro, o então serviço florestal do Governo do estado de São Paulo, iniciou estudos técnicos com espécies exóticas produtoras de “madeira branca”¹. As pináceas foram inicialmente escolhidas pela sua tradição de uso em cerca de 80% do abastecimento da indústria mundial de pasta de celulose para usos diversos.

Ainda segundo a mesma fonte, o serviço florestal inicia, assim, em 1936, suas experiências com espécies européias, que não apresentaram bom desenvolvimento. Em 1948 houve uma tentativa com *Pinus radiata* Don., que não se adaptou às condições climáticas e sofreu ataque de fungo, inviabilizando os plantios. Com o acúmulo de experiência

¹ O texto cita madeira branca, fazendo referência à madeira de coníferas

nas técnicas de viveiro, o Serviço deu prosseguimento à introdução de novas espécies de *Pinus* oriundas das regiões tropicais e subtropicais, consolidando a base para plano de reflorestamento proposto pelo Governo do estado de São Paulo e executado pelo Serviço Florestal, com mais de 60 milhões de mudas plantadas entre 1957 e 1964, cerca de 60% da área total reflorestada no Estado naquele período.

Assim, somente a partir de 1948 foram introduzidas espécies americanas no Sul e Sudeste do Brasil. Inicialmente, foram testados os “pinheiros amarelos”, que incluem as espécies *Pinus palustris*, *P. echinata*, *P. taeda* e *P. elliotti* (SHIMIZO, 2004).

Contudo, a prática extensiva de reflorestamento no Brasil, com participação expressiva da iniciativa privada somente se intensificou a partir de 1967, com as leis de incentivos fiscais, aliadas à crescente demanda de madeira e extinção quase que completa das matas de *Araucária angustifolia* (HERNANDEZ; SHIMABUKURO, 1978; SIMÕES *et al.*, 1981).

Até hoje, a produção dessas florestas tem por objetivo o suprimento das necessidades de celulose e papel, carvão e, posteriormente, madeira sólida (HERNANDEZ; SHIMABUKURO, 1978). Inicialmente, ocorria um predomínio de produtos como celulose e papel, mas a partir dos anos 90, produtos de madeira sólida começaram a ocupar destaque e hoje respondem pela metade das exportações de produtos florestais.

Em 2003, o Brasil alcançou o 10º lugar no ranking de exportadores de produtos de madeira sólida de coníferas, negociando, aproximadamente, 1,6 milhões de m³ (TUOTO *et al.*, 2004). As plantações de *Pinus*, atualmente, atingem cerca de 1,8 milhões de hectares e o *P. taeda* responde por, aproximadamente, 46% desse total (TOMASELLI, 1998). A Figura 1 localiza as regiões potencialmente aptas para o cultivo de *Pinus taeda* e *P.elliotti* no Brasil (KRONKA *et al.*, 2005)



Figura 1: Mapa das regiões potencialmente aptas para o cultivo de *Pinus taeda* e *P.elliotti* no Brasil, segundo KRONKA et al.(2005)

4.1. A madeira da espécie *Pinus taeda* L.

O gênero *Pinus* é composto de, aproximadamente, 100 espécies e é originário de regiões temperadas e tropicais. Macroscopicamente, a cor de sua madeira pode ser classificada em branca, vermelha e amarela (USDA FOREST SERVICE, 2002).

A espécie *Pinus taeda* é nativa dos Estados Unidos, distribuindo-se do sul de New Jersey e Delaware à região central da Florida e ao leste do Texas e no Vale do Mississippi ao extremo sudeste do Oklahoma, Arkansas central e sul do Tennessee. Cresce ao nível do mar e em altitudes de até 610 m, em regiões com precipitação média anual de 1000 a 1500 mm, temperaturas variando de -23°C a 38°C e em solos com má drenagem superficial (BERNI *et al.*, 1979; USDA FOREST SERVICE, 2002). As árvores dessa espécie podem atingir até 46 m de altura, com diâmetros de, aproximadamente, 1,30 m. A altura média de uma árvore com 20 anos de idade, em seu habitat natural, pode variar de 10 a 20 m e seu diâmetro na base pode ser de 12 a 22 cm. No Brasil, Berni *et al.* (1979) relataram que plantas com a mesma idade apresentavam alturas semelhantes (23 m), mas diâmetros muito maiores,

de até 43,5 cm. A árvore mais alta que se teve notícia tinha 54 m de altura e 1,42 m de diâmetro (KOCH, 1972; USDA FOREST SERVICE, 2002).

No mercado norte-americano, a espécie *P. taeda* é comercializada em um grupo denominado *Southern Pine* que inclui diversas espécies como: *Longleaf Pine* (*P. palustris*), *Shortleaf Pine* (*P. echinata*), *Loblolly Pine* (*P. taeda*) e *Slash Pine* (*P. elliotti*).

A tabela 1 mostra os valores médios das referidas espécies.

Tabela 1 – Valores médios de madeiras coníferas do grupo *Southern Pine*, nativas dos Estados Unidos

Nome comum (nome científico)	$\rho_{(12\%)}$ (Kg/m ³)	Flexão estática		f_{c0} (MPa)	f_{t90} (MPa)	f_v (MPa)
		f_M (MPa)	E_M (MPa)			
Longleaf Pine (<i>P. palustris</i>)	660	99,97	13.652	58,40	6,62	10,41
Shortleaf Pine (<i>P. echinata</i>)	570	90,32	12.066	50,12	5,65	9,58
Loblolly Pine (<i>P. taeda</i>)	570	88,25	12.342	49,16	5,45	9,58
Slash Pine (<i>P. elliotti</i>)	660	112,38	13.652	56,12	7,03	11,58

$\rho_{(12\%)}$ = massa específica a 12% de umidade

f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras

f_{t90} = resistência à tração normal às fibras

f_v = resistência ao cisalhamento

f_M = resistência

E_M = rigidez à flexão

Fonte USDA(1999), corrigida para referências nacionais de densidade

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997), as madeiras de coníferas nativas e de reflorestamentos apresentam os seguintes valores, conforme tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios de madeiras coníferas nativas e de florestamento

Nome comum (Nome científico)	$\rho_{(12\%)}$ (Kg/m ³)	f_{c0} (MPa)	f_{t90} (MPa)	f_v (MPa)	E_{c0} (MPa)
Pinho do Paraná (<i>Araucaria angustifolia</i>)	580	40,9	1,6	8,8	15.225
Pinus caribea (<i>P. caribea</i> var. <i>caribea</i>)	579	35,4	3,2	7,8	8.431
Pinus bahamensis (<i>P. caribea</i> var. <i>bahamensis</i>)	537	32,6	2,4	6,8	7.110
Pinus hondurensis (<i>P. caribea</i> var. <i>hondurensis</i>)	535	42,3	2,6	7,8	9.868
Pinus elliottii (<i>P. elliottii</i> var. <i>elliottii</i>)	560	40,4	2,5	7,4	11.889
Pinus oocarpa (<i>P. oocarpa shiede</i>)	538	43,6	2,5	8,0	10.904
Pinus taeda (<i>Pinus taeda</i> L.)	645	44,4	2,8	7,7	13.304

$\rho_{(12\%)}$ = massa específica a 12% de umidade

f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras

f_{t90} = resistência à tração normal às fibras

f_v = resistência ao cisalhamento

E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras

Coefficiente de variação para resistências a solicitações normais $\delta = 18\%$

Coefficiente de variação para resistências a solicitações tangenciais $\delta=28\%$

Quando comparada às demais espécies envolvidas no grupamento *Southern Pine*, a madeira do *P. taeda* é resistente, a textura varia de macia a moderadamente dura e é relativamente resistente a choques, possui boa capacidade de retenção de pregos. O alburno é geralmente largo no crescimento secundário, apresenta coloração amarelo-clara e é facilmente impregnado com preservantes. O cerne começa a se formar em árvores com cerca de 20 anos e possui cor marrom-avermelhada, apresentando baixa a mediana resistência natural ao apodrecimento. A maioria das espécies de *Pinus* possui contração moderadamente alta, porém possui boa estabilidade quando devidamente seco. (BERNI *et al.*, 1979; USDA FOREST SERVICE, 2004).

No Brasil, a madeira de *P. taeda* é usada na produção de peças serradas para estruturas, móveis, molduras, embalagens e chapas de diversos tipos (SHIMIZU, 2004). Em 1990, os móveis produzidos com *Pinus* renderam ao país US\$ 40 milhões em exportações; já em 2004, a cifra atingida foi de US\$ 1 bilhão. O Brasil é o segundo produtor

mundial (atrás da China) de resina extraída do tronco dessas árvores. Segundo dados da Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS), dos US\$ 21 bilhões referentes à produção de madeira, celulose e carvão, em 2004, US\$ 17,5 bilhões são de florestas plantadas (61% de eucalipto e 39% de pinus). A indústria de papel e celulose só utiliza árvores de reflorestamento e o pinus representa 30% das plantações. Ele é importante porque contribui com as fibras longas, imprescindíveis na fabricação de papéis que exigem mais resistência e melhor absorção de tinta. Em relação aos móveis, a madeira de pinus domina a preferência das indústrias (OLIVEIRA, 2005).

4.2. Anatomia das coníferas

Macroscopicamente, o caule de um *Pinus* (Figura 2) apresenta, mais superficialmente, a casca externa (1), que é a proteção da árvore contra as agressões do ambiente, sendo constantemente renovada, evita o excesso de umidade durante as chuvas e a sua perda, quando o ambiente está seco, também isolando contra o frio e calor excessivos e protegendo contra insetos. A seguir, encontra-se a casca interna (2) ou floema, sendo o sistema de tubos pelos quais o alimento é transportado das folhas para o resto da árvore. O floema tem vida breve, transformando-se em cortiça e tornando-se parte da casca externa. A terceira camada (3) é a do câmbio, onde ocorre o crescimento do tronco, produzindo ao mesmo tempo, casca e madeira novas. O alburno (4) é o sistema tubular que transporta água das raízes para as folhas. O alburno é madeira nova, enquanto são produzidos novos anéis de alburno na parte externa do tronco, as células de suas partes mais internas se transformam em cerne. O cerne (5) é o cilindro central que dá sustentação à árvore, sendo formado por um sistema de fibras celulósicas tubulares unidas por lignina (KRONKA et al, 2005).

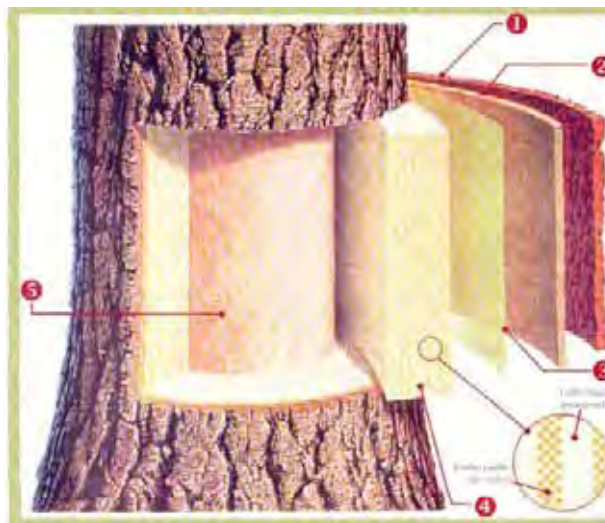


Figura 2 – Estruturas do caule (KRONKA et al., 2005)

A estrutura celular das coníferas é relativamente simples, apresentando somente dois tipos, os traqueídes axiais (90-95%) e células de raio (5-10%). Entretanto, algumas espécies de coníferas podem possuir maior diversidade celular (SJÖSTRÖM, 1993).

Em cada anel de crescimento das árvores de coníferas pode-se, ainda, diferenciar duas regiões distintas, uma clara e outra escura. Essa variação na aparência das duas regiões do anel de crescimento é consequência das mudanças da formação da madeira, que é produzida pelas diferentes estações do ano, sobretudo nos países de clima temperado. Em países tropicais e subtropicais, essa diferenciação está mais diretamente associada às variações na disponibilidade de água nas diferentes estações do ano.

Em um anel de crescimento, o lenho mais claro, chamado lenho inicial (*earlywood*) é composto basicamente por células com maior lúmen, paredes menos largas e, conseqüentemente, madeira menos densa. O lenho escuro, chamado lenho tardio (*latewood*) é constituído de células com paredes mais largas e menor lúmen, resultando em madeira mais densa.

Por consequência, a densidade do lenho inicial é menor do que a do tardio (BURGER; RICHTER, 1991).

O corte transversal de um fuste de conífera apresenta, normalmente, duas regiões distintas (Figura 3). A primeira, próxima à medula, corresponde à madeira juvenil, e a segunda, mais próxima da casca, constitui a madeira adulta (PANSIN; ZEEUW, 1980). Na madeira juvenil podem-se observar anéis de crescimento graduais e difusos.

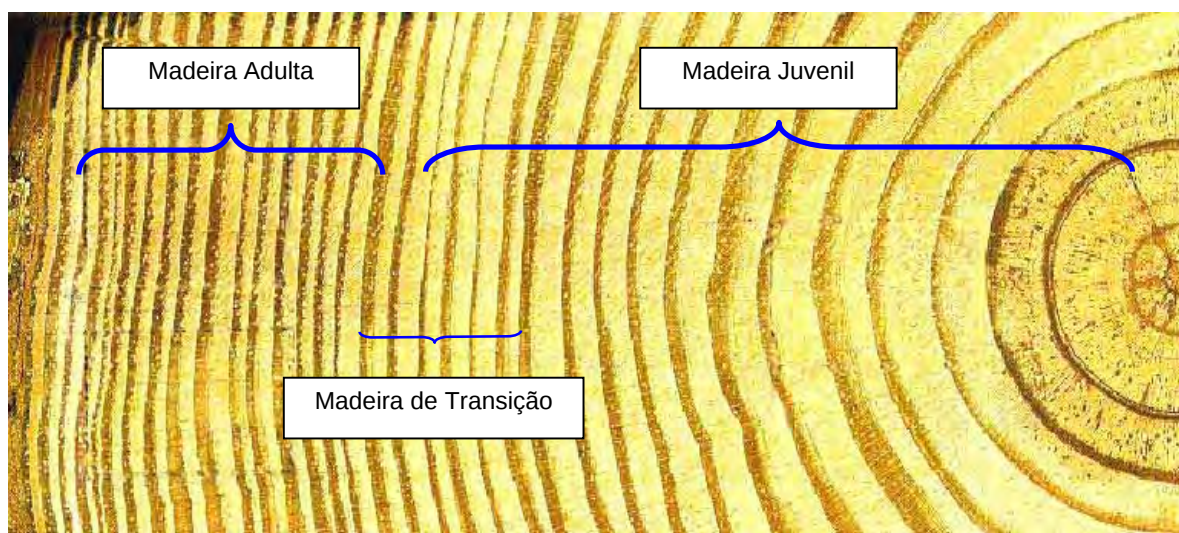


Figura 3 – Madeira juvenil e madeira adulta.

A madeira juvenil corresponde a uma região central na árvore, de forma cilíndrica, estendendo-se desde a base até o topo da árvore, com diâmetro aproximadamente uniforme, podendo formar parte do alburno ou do cerne no tronco. Forma-se durante a fase juvenil do câmbio vascular da árvore. Este período varia conforme a espécie e pode ser afetado pelas condições ambientais.

De uma forma geral, a madeira juvenil caracteriza-se por menor densidade, resistência mecânica e proporção de lenho tardio, o que confere-lhe um aspecto visual bastante característico e distinto do da madeira adulta. Para os *Pinus* exóticos plantados no Brasil, os anéis de crescimento da madeira juvenil são significativamente mais largos (por conta da grande proporção de lenho inicial, em detrimento do lenho tardio, mais denso).

A diferenciação entre as duas regiões (madeira juvenil e madeira adulta), embora possa ser encaminhada visualmente, na maioria das vezes é feita, de forma mais precisa, pela análise da variação do comprimento das fibras na direção radial do fuste da árvore e pelo método da densidade. O comprimento dos traqueídes é extremamente variável.

Segundo Green *et al.* (1999), a madeira juvenil das coníferas engloba o material próximo ao 20º anel de crescimento, a partir da medula, apresentando diferenças nas propriedades físicas e mecânicas, em relação à madeira adulta (Figura 4).

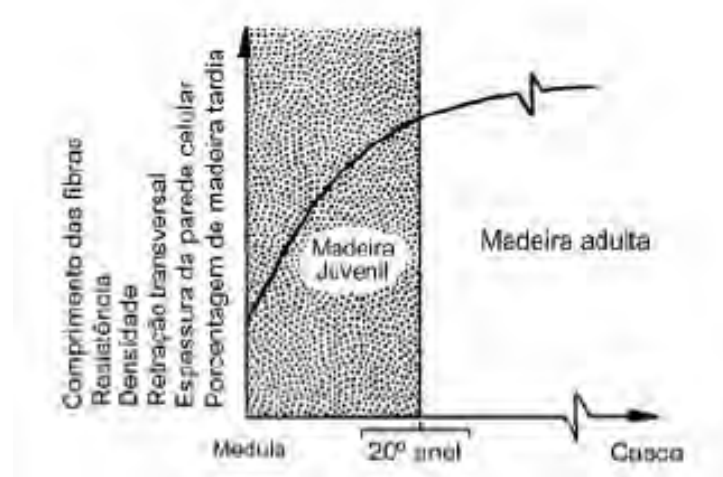


Figura 4 - Variações das propriedades físico-mecânicas na madeira juvenil e adulta (GREEN *et al.*, 1999).

Segundo Zobel (1980), a transição entre madeira juvenil e adulta varia de uma espécie para outra e ocorreria em vários anos. Observação semelhante foi realizada por Loo *et al.* (1985), que relataram variações da densidade em árvores de *Pinus elliottii*, de até 5 a 6 anos de idade. *Pinus taeda* apresentou variações em até 10 anos. Tomaselli (1979), estudando *Pinus taeda* e *P. elliottii*, observou que o comprimento dos traqueídes aumenta em direção à casca até uma idade entre 9 e 13 anos, após a qual ocorre uma estabilização dimensional. Entretanto, para Ballarin e Lara Palma (2003), a madeira juvenil está compreendida da medula até o 14º anel, entre este e o 18º, a madeira é considerada de transição e a partir deste último, deve ser considerada adulta.

A transição entre lenho inicial e tardio em anéis de crescimento juvenis é extremamente gradual e difusa, causando dificuldade em se determinar o limite desses lenhos nos anéis juvenis, devido à natureza dos traqueídes de transição, que geralmente compreendem a maior parte dos largos anéis de crescimento juvenis. Esses traqueídes de transição são produzidos em condições favoráveis de crescimento, com prolongação do crescimento dos brotos terminais, desenvolvimento foliar e promoção de altos níveis de

atividade fotossintética. Nos traqueídes de transição o diâmetro radial geralmente permanece constante, (LARSON *et al.*, 2001).

Segundo Ballarin e Lara Palma (2003), mudanças graduais das células dificultam a demarcação entre a madeira juvenil e a adulta, sendo o comprimento dos traqueídes, uma das variáveis mais comuns na definição da transição entre as madeiras juvenil e adulta. A madeira juvenil apresenta traqueídes mais curtos próximos à medula, aumentando rapidamente quando em direção à periferia, enquanto a madeira adulta apresenta poucas mudanças nos traqueídes. Entretanto, existem outros fatores que contribuem no número de anéis de madeira juvenil, como tratamentos silviculturais (quanto mais cedo ocorre a poda, mais rapidamente começa a formação da madeira adulta), fertilização, tipo de sítio e tipo de floresta (naturais ou reflorestamento).

A zona dos traqueídes de transição (inicial- tardio) além de ser uma característica de distinção do lenho juvenil, é um importante fator indicativo da qualidade da madeira, pois uma vez que os traqueídes de lenho inicial possuem lúmens largos, paredes finas e são estruturalmente fracos, uma redução na formação do lenho inicial pode contribuir para um aumento na qualidade da madeira. A redução na largura dos anéis sempre afeta mais o lenho inicial do que o tardio. Entretanto, a quantidade de lenho tardio não necessariamente aumenta, apesar de aumentar a proporção deste lenho (LARSON *et al.*, 2001).

A redução no lenho inicial juvenil ocorre com a redução na largura dos traqueídes de transição. Quanto mais drástica for a queda na taxa de crescimento e da largura dos anéis, mais estreitos serão os traqueídes de transição nos anéis de crescimento. Em anéis relativamente estreitos, como os produzidos em árvores de plantios com espaçamentos pequenos, a região de transição (inicial-tardio) pode estar ausente nos anéis mais externos do lenho juvenil. Esses anéis geralmente possuem aparência e características visuais dos anéis adultos, sugerindo que o lenho juvenil consiste somente dos 6 a 8 primeiros anéis (LARSON *et al.*, 2001).

É difícil de prever como a relação entre lenho inicial e tardio pode ser afetada por variações na largura dos anéis. Apesar de se usar tanto o diâmetro radial dos traqueídes quanto a largura da parede para a diferenciação dos lenhos inicial e tardio, ambas as características variam independentemente durante a formação dos anéis de crescimento. Isto é, o diâmetro radial dos traqueídes e a largura da parede são controlados por processos

fisiológicos completamente diferentes. Portanto, um fator ambiental pode fazer com que a parede celular varie em largura, sem que interfira no diâmetro radial do lume (LARSON *et al.*, 2001).

No lenho inicial, os traqueídes axiais são de seção poligonal, paredes finas e não apresentam meatos intercelulares e seu comprimento aumenta mais rapidamente nos anéis estreitos do que nos largos. No lenho tardio, possuem paredes mais largas e geralmente são mais compridos em anéis estreitos. Os traqueídes de lenho tardio são mais compridos do que os de lenho inicial (MUÑIZ, 1986; LARSON *et al.*, 2001).

Panshin e Zeeuw (1980) observaram redução no comprimento dos traqueídes de acordo com a idade e espécie da árvore, podendo variar de 2,5 a 5,0 mm. Extremos podem ser observados entre a *Juniperus osteosperma* e a *Araucaria* sp, com variações de 1,18 mm a 11 mm, respectivamente (PANSHIN; ZEEUW, 1980; BURGER & RICHTER, 1991).

O comprimento máximo ocorre no lenho tardio ou próximo ao lenho de transição e diminui com o fim do crescimento anual. O acréscimo no comprimento dos traqueídes do lenho inicial para o tardio é de 10 a 15% nas espécies de zona temperada e pode ser inferior a 5% nas tropicais (PANSHIN; ZEEUW, 1980).

4.3. Propriedades físicas e mecânicas da madeira

Segundo Hellmeister (1983) e Shimoyama e Barrichelo (1991) as principais propriedades físicas da madeira são a densidade básica e a aparente, a umidade e a estabilidade dimensional (contração), sendo a primeira a que melhor expressa a qualidade da madeira, pela fácil determinação e por apresentar correlação com outras características do produto.

A densidade básica expressa a relação entre a massa da madeira seca em estufa (a 0% de umidade) e o volume saturado, com a umidade acima do ponto de saturação.

A densidade aparente é definida como a razão entre a massa e o volume da madeira a um determinado teor de umidade. A princípio, a densidade aparente pode ser determinada com qualquer porcentagem de umidade, mas devido a grande variação de resultados, fez-se necessária uma padronização, a fim de se poder comparar os dados obtidos

em diferentes estudos. A ABNT (1997), com seu código normativo NBR 7190 – Projetos de Estruturas de Madeira, adotou a umidade de referência de 12% para a determinação da densidade aparente, bem como de outras propriedades mecânicas.

As propriedades mecânicas da madeira avaliam a aptidão da madeira a suportar esforços. São mensuradas, normalmente, pela resistência do material e sua rigidez a diferentes solicitações. A resistência é determinada pela maior tensão que pode ser aplicada a corpos-de-prova isentos de defeitos, sem que ocorra ruptura ou deformação específica excessiva. A rigidez da madeira é determinada pelo valor médio do módulo de elasticidade na fase de comportamento elástico linear do material.

Devido à consideração fundamental da ortotropia elástica da madeira, as propriedades de resistência e rigidez devem ser diferenciadas em duas direções principais de comportamento: paralela e normal às fibras.

Assim, por exemplo, o módulo de elasticidade E_0 é medido na direção paralela às fibras e o módulo E_{90} na direção normal às fibras.

Os ensaios mais comumente utilizados na caracterização mecânica da madeira são os de compressão paralela às fibras (ensaio de referência da NBR 7190 – ABNT, 1997), flexão, cisalhamento e dureza.

Por sua praticidade, o ensaio de flexão simples é freqüentemente o mais empregado em condições de campo e em ensaios expeditos.

A NBR 7190 (ABNT, 1997) introduziu o conceito de classes de resistência da madeira. Por meio dele, a madeira é classificada estruturalmente pela sua resistência característica à compressão paralela às fibras (f_{c0k}). A Tabela 3 apresenta os valores sugeridos pela NBR 7190 para as classes de resistência das madeiras de folhosas e coníferas.

Tabela 3 - Classes de resistência para a madeira serrada.

Madeira de folhosas (Valores na condição padrão de referência U = 12%)					
Classes	f_{c0k} (MPa)	f_{vk} (MPa)	E_{c0,m} (MPa)	ρ_{bas,m} (kg/m³)	ρ_{aparente} (kg/m³)
C 20	20	4	9.500	500	650
C 30	30	5	14.500	650	800
C 40	40	6	19.500	750	950
C 60	60	8	24.500	800	1000
Madeira de coníferas (Valores na condição padrão de referência U = 12%)					
Classes	f_{c0k} (MPa)	f_{vk} (MPa)	E_{c0,m} (MPa)	ρ_{bas,m} (kg/m³)	ρ_{aparente} (kg/m³)
C 20	20	4	3.500	400	500
C 25	25	5	8.500	450	550
C 30	30	6	14.500	500	600

f_{c0k}: resistência característica à compressão paralela às fibras
f_{vk}: resistência característica ao cisalhamento paralelo às fibras
E_{c0,m}: módulo de elasticidade médio à compressão paralelas às fibras
ρ_{bas,m}: densidade básica da madeira
ρ_{aparente}: densidade aparente da madeira

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997)

Para o projeto de estruturas de madeira, especifica-se, pela nova norma, uma classe de madeiras (C 20, C 30, ...) e não uma espécie de madeira (Ex: peroba rosa), conforme se procedia anteriormente.

A resistência de projeto ou de cálculo (f_{c0d}) para a classe especificada é obtida a partir da resistência característica (f_{c0k}) assumindo-se:

$$f_{c0d} = k_{mod\ 1} \cdot k_{mod\ 2} \cdot k_{mod\ 3} \cdot \frac{f_{c0k}}{\gamma_w} \quad (1)$$

onde:

f_{c0d}: resistência de cálculo à compressão paralelas às fibras.

k_{mod 1}: coeficiente parcial de modificação, menor que a unidade, que pondera os efeitos da duração do carregamento na resistência.

$k_{\text{mod } 2}$: coeficiente parcial de modificação, menor que a unidade, que pondera os efeitos da umidade do ambiente na resistência.

$k_{\text{mod } 3}$: coeficiente parcial de modificação, menor que a unidade, que pondera a qualidade da madeira (1ª ou 2ª categoria).

γ_w : coeficiente de minoração da resistência da madeira, com valores iguais 1,4 ou 1,8 para os estados limites últimos.

No caso particular do coeficiente parcial de modificação $k_{\text{mod } 3}$, que pondera a qualidade, seus valores são iguais a 1,0 para madeira de 1ª categoria e 0,8 para madeira de segunda categoria. Para coníferas, utilizadas na forma de peças estruturais de madeira serrada, por conta da excessiva presença de nós, o coeficiente é tomado sempre com valor igual a 0,8.

4.4. Produtos compostos da madeira

A madeira do *Pinus* pode ser usada como matéria prima para vários produtos, pois os resíduos das indústrias moveleiras e de construção civil podem ser aproveitados na industrialização de compostos da madeira.

Segundo Gonçalves (2000), a madeira pode ser usada como compostos laminados (painéis de madeira compensada ou sarrafeada e peças micro-laminadas), como compostos particulados (painéis de madeira aglomerada e de partículas orientadas ou não, peças de ripas paralelas e de partículas orientadas) e ainda na forma de fibras (painéis isolante, duro ou de média densidade), além de papel.

4.5. Métodos de avaliação da qualidade da madeira para fins estruturais

Segundo o item 6.4.4 da NBR 7190 (ABNT, 1997): “A condição de madeira de primeira categoria somente pode ser admitida se todas as peças estruturais forem classificadas como isentas de defeitos, por meio de método visual normalizado, e também submetido a uma classificação mecânica, que garanta a homogeneidade da rigidez das peças que compõem o lote de madeira a ser empregado. Não se permite classificar as madeiras como de 1ª categoria, apenas por meio de método visual de classificação”.

A comissão de estudos CE 02: 126.10, responsável pela revisão da NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira propõe, em seu anexo G, a classificação visual de madeira serrada de coníferas destinada a aplicações estruturais. Essa proposta de classificação teve origem nas regras do Southern Pine Inspection Bureau (SPIB), apresentada na dissertação de mestrado de Carreira (2003).

Pelo anexo normativo proposto, a classificação consiste na inspeção da qualidade visual com relação à presença de defeitos e com relação à densidade da madeira, sendo definidas quatro classes estruturais, a Classe Estrutural Especial (SE) e as Classes Estruturais N° 1 (S1), N°2 (S2), N°3 (S3).

Segundo Carreira (2003), o número de anéis de crescimento está relacionado com a idade da madeira e é medido pela quantidade de anéis de inverno presentes em 25,4 mm medidos em uma linha radial representativa em peças contendo medula ou não (Figuras 5, 6, 7 e 8).

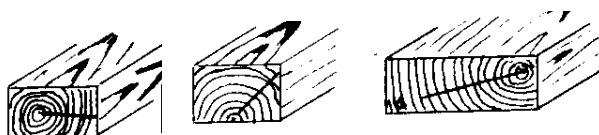


Figura 5 - Exemplo de linha radial em peças contendo medula (CARREIRA, 2003)

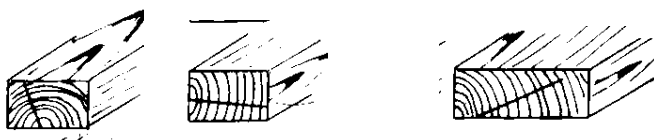


Figura 6 - Exemplo de linha radial em peças sem medula (CARREIRA, 2003)

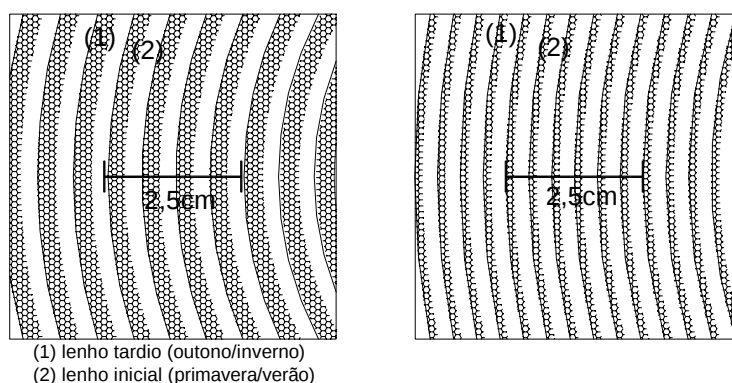


Figura 7 – Madeiras densas.

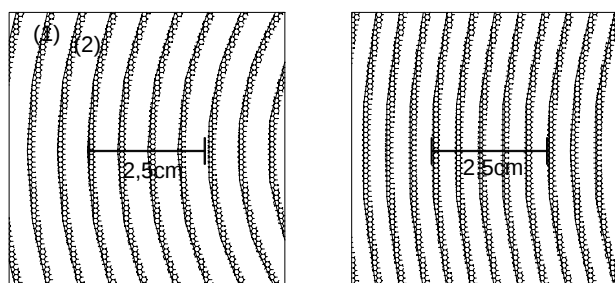


Figura 8 – Madeiras não-densas

A madeira é classificada como: densa quando apresenta seis ou mais anéis de crescimento e mais de um terço da área da seção transversal composta de lenho tardio ou quatro ou mais anéis de crescimento, com mais da metade de lenho tardio, não-densa com quatro ou mais anéis de crescimento e mais e um sétimo de lenho tardio e não-estrutural quando não atender nenhuma das condições anteriores (Tabela 4 e Figura 9). A classificação sempre se dará quando a primeira condição for satisfeita.

Tabela 4 - Classificação de madeiras de coníferas quanto à classe de densidade, em função do número de anéis por polegada e da proporção de lenho tardio.

Classe	Número de anéis/polegada	Proporção de lenho tardio
Densa	≥ 6	$>1/3$
	≥ 4	$>1/2$
Não-densa	≥ 4	$>1/7$
Não-estrutural	não atendem a nenhum dos critérios	

Fonte: CE 02: 126.10 -Anexo G (ABNT, 2003).

Na classificação, as peças de número de anéis de crescimento excessivamente baixa devem ser descartadas, mesmo que sejam isentas de defeitos. Definem-se como peças de número de anéis de crescimento excessivamente baixa aquelas que apresentam menos de 15% de madeira de inverno medidos em 25,4 mm de uma linha radial representativa (ABNT, 2003).

Da análise da Tabela 4 percebe-se que dois quesitos distintos são ponderados para o enquadramento da madeira quanto à densidade: o número de anéis por polegada e a proporção de lenho tardio.

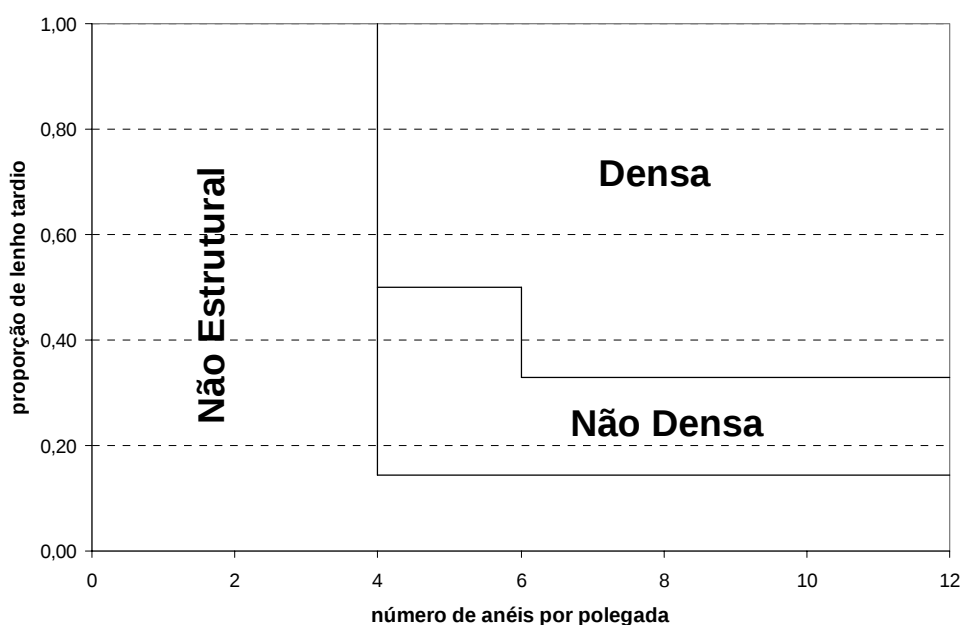


Figura 9 – Diagrama definindo as madeiras em classes de densidade: densa, não-densa e não-estrutural.

Relativamente à presença de defeitos, os mais comumente observados são inclinações das fibras, empenamentos e a presença de nós, rachaduras e fendas.

A inclinação das fibras pode ocorrer devido ao desdobro ou por fibras em espiral e é medida nas quatro faces, por todo o comprimento e na zona que apresentar a maior inclinação, desconsiderando-se os desvios em torno dos nós. Segundo a ASTM D245-93 (1998) (American Society of Testing and Materials), os desvios localizados somente são considerados quando a peça tiver menos de 89 mm de largura ou altura inferior a 38 mm.

Uma vez que muitas árvores crescem em espiral, sendo uma característica genética, a direção e a inclinação das fibras podem variar ao longo do comprimento da peça de madeira. A umidade também tem que ser levada em consideração, já que causa o empenamento de superfícies. Já as fibras diagonais ocorrem pelo tipo de corte ao qual o tronco é submetido, não sendo hereditário, embora sempre ocorra uma variação natural na direção das fibras, sendo impossível a realização de um corte que elimine as fibras diagonais (STANALKER & HARRIS, 1989).

Quase todas as peças de madeira contendo fibras inclinadas e submetidas à flexão rompem porque as tensões de flexão têm uma componente normal às fibras e a resistência à tração nessa região é muito baixa.

Os nós são avaliados em termos de proporção de área que ocupam na seção transversal da peça e são diferenciados pela sua posição, podendo estar localizados no centro da face, no canto da face ou no lado. Um conjunto de nós deve ser medido como um nó individual, adotando-se como o diâmetro equivalente de um conjunto de nós, a soma dos seus respectivos diâmetros. Deve ser ressaltado que não deve se considerar um conjunto de nós quando ocorrer dois ou mais nós próximos, mas com fibras inclinadas em torno de cada nó individualmente.

Segundo Stanalker e Harris (1989), os nós podem causar desvios localizados nas fibras que apresentem inclinações excessivas, causando enfraquecimento da madeira devido a presença do nó (Figura 10).

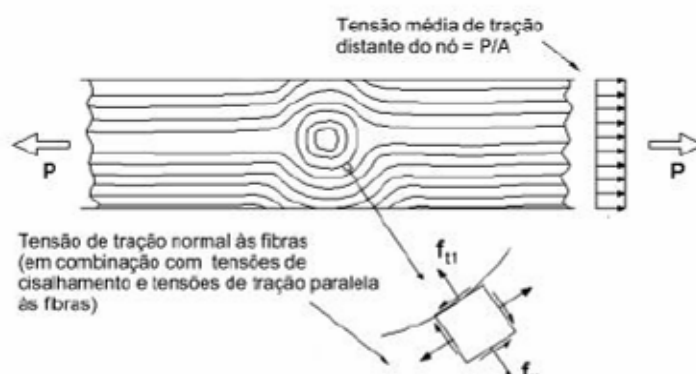


Figura 10 - Efeito do nó na resistência da madeira
(STANALKER e HARRIS, 1989)

De acordo com os mesmos autores, na região alterada, as cargas aplicadas causam tensão de tração normal às fibras da madeira, sendo essa resistência muito baixa, o enfraquecimento devido à presença do nó torna-se bastante significativo. O efeito dos nós é maior na resistência à tração do que na compressão; na flexão, o defeito depende da face da viga onde o nó se encontra (tracionada ou comprimida). Nas peças tracionadas, os nós presentes na linha central da face larga tem menor efeito que os nós na borda da mesma face. Isso ocorre porque os nós presentes numa borda causam excentricidade que induz a tensões de flexão e assim, devem ser mais restritivos que nós do centro. Pela ASTM D245-93 (1998) e pela (ABNT, 2003), um nó é considerado de borda se a distância do centro do nó à borda for igual ou menor a $\frac{2D}{3}$ do diâmetro do nó (figura 11).

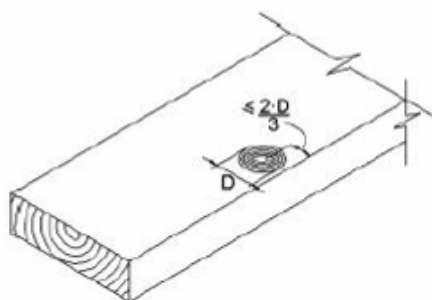


Figura 11 - Nó de borda (ABNT, 2003)

A zona de fibras inclinadas em torno do nó tem menor rigidez na direção paralela ao comprimento da peça que as zonas de fibras retas. Assim, áreas de baixa rigidez são mais freqüentemente associadas aos nós e constituem uma pequena parte do volume total de uma peça de madeira. Assim, a rigidez de uma peça não é muito influenciada pelos nós, uma vez que reflete a característica de todas as partes da peça. O nó causa mais efeito na resistência, dependendo da proporção da seção transversal da peça ocupada pelo nó, as localizações do nó e da distribuição de tensões na peça (STANALKER & HARRIS, 1989).

4.6. Processamento digital de imagens

Cumprindo o mesmo papel da classificação visual, mas fazendo uso de “visão artificial” com o processamento digital de imagens, os métodos de avaliação da qualidade da madeira a partir de imagens digitais têm sido empregados para diversos propósitos em tecnologia da madeira. Mostram-se, por exemplo, de aplicação imediata na avaliação do número de anéis de crescimento.

Nestes métodos, as imagens são geralmente captadas por sensores ópticos, sendo processadas e analisadas através de algoritmos. Essa limiarização em imagens digitais visa a obtenção de uma imagem binária, onde os valores dos pixels de um limiar serão um (branco) e, abaixo dele, zero (preto) (PHAM; ALCOCK, 1998; GONZALEZ; WOODS, 2000). A posição do pixel é definida pelos valores de “x” e “y”, num sistema de coordenadas cartesianas. O brilho ou radiância média, medida eletronicamente sobre a área de cada pixel, corresponde à sua intensidade e é representada pelo valor de “z” ou número digital (DN – *digital number*) ou, ainda, nível de cinza. Na maioria dos sistemas um valor de “z” igual a zero representa o preto absoluto, enquanto que o valor mais alto representa o branco absoluto (JAGELS e TELEWSKI, 1989).

Os DNs que constituem uma imagem digital são registrados em amplitudes numéricas que variam conforme o número de *bits* dos códigos binários empregados. Num sistema de 8 *bits*, por exemplo, podem ser representados 256 níveis (tons) de cinza ($2^8=256$).

As imagens coloridas geradas pelas câmeras digitais possuem 24 bits, sendo 8 bits por canal RGB (DISPERATI *et al.*, 2000). O código RGB representa a intensidade relativa de vermelho (Red), verde (Green) e azul (Blue) que forma uma determinada cor. O valor de cada componente (R, G e B) deve ser um número inteiro entre 0 e 255 (Exemplo: RGB (255, 0, 0) representa a cor vermelha).

Segundo Abrahão *et al.* (1999), a quantificação de falhas na madeira, baseada em imagens digitais, pode ser um procedimento mais rápido e menos subjetivo do que o método convencional de quadrículas. A obtenção de imagens através de digitalizadores (*scanner*) apresenta vantagens em relação à fotografia digital, pois os *scanners* possuem iluminação própria e padronizada, são de fácil manipulação e estão menos sujeitos à distorções

geométricas. Como desvantagens, diferentes marcas apresentam diferentes especificações e possibilidades de ajustes, influenciando no desempenho dos algoritmos de processamento e da análise das imagens.

Um dos primeiros trabalhos descritos, de medições de anéis, com a utilização de softwares de processamento de imagens foi o de Liu (1985), constituído por dois subsistemas de *hardware* e vários *softwares* para captação, recuperação, controle de qualidade e análise de dados, utilizando-se o *Tree-Ring Scanner*. Um ano depois, Yanosky e Robinove (1986) efetuaram medições de área e estruturas anatômicas de anéis de crescimento de *Pinus taeda* e *Fraxinus pennsylvanica*, usando um *software* de processamento de imagens de satélite. Cook e Kairiukstis (1989) enumeraram sete principais sistemas (*hardware* e/ou *software*) utilizados na medição de anéis de crescimento até o final da década de 80, utilizados nos Estados Unidos e na Europa. Thetford *et al.* (1991) desenvolveram o Macdruid, com capacidade de determinar, simultaneamente, a densidade e largura dos anéis.

Dez anos depois, os softwares mais utilizados na análise dos anéis de crescimento já eram outros, como citado por Grissino-Meyer (1999), sendo os mais comuns, o ITRDB Program Library, 2.1, o TreeRing 3.0, o TSAP e o Windendro.

No Brasil, constata-se que diversos laboratórios de Anatomia da Madeira já fazem uso corrente de diversos softwares importados para automatização parcial da quantificação de elementos anatômicos identificáveis em cortes microscópicos do material.

Rigozo e Nordemann (2000) desenvolveram um programa em Interactive Data Language (IDL) 5.0 (ENVI – Environmental for Visualizing Images), que determina a largura dos anéis e gera um gráfico com as posições de cada anel em função da distância da medula e dos níveis de cinza da imagem. Já Rosot *et al.* (2001) utilizaram o *SPRING* para a análise de imagens de *Araucaria angustifolia*.

Abrahão *et al.* (2003) obtiveram imagens digitalizadas com o auxílio de um scanner e utilizaram o software *Color Page I* e *Color Page Vivid III* para a obtenção das amostras coloridas e em tons de cinza, que foram utilizadas para a avaliação de madeiras em juntas coladas e os resultados demonstraram que os algoritmos testados apresentaram erro médio absoluto menor que 3%, em relação ao sistema convencional da rede quadriculada.

As imagens digitais, em meio digital, contêm informações sobre alvos na superfície que podem ser extraídas através do processo de classificação. Esse processo se

baseia na distinção e identificação de diferentes alvos que possuem comportamentos espectrais diferenciados, os quais permitem a sua classificação. A classificação digital de imagens associa cada pixel da imagem a um determinado rótulo, obtendo-se como resultado um determinado tema. Existem essencialmente duas abordagens na classificação de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto: a classificação supervisionada e a não-supervisionada (CROSTA, 1992).

Na primeira, classificação supervisionada, por meio de algoritmos pré-estabelecidos, o usuário procura identificar pontos na imagem pertencentes a classes desejadas, deixando ao programa de classificação a identificação de todos os demais pixels pertencentes àquelas classes. Já o processo de classificação não-supervisionada consiste em atribuir cada pixel de uma imagem a um grupo de classe. Essa atribuição é feita com base em observações do pixel, em si e na sua vizinhança, bem como numa série de regras (PEREIRA, 1992).

A função primordial do processamento digital é fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas imagens, para posterior interpretação (CROSTA, 1992).

Verifica-se assim, a possibilidade de utilização dessa ferramenta para análises macroscópicas do material. Particularmente no que toca à madeira de coníferas, a partir das informações contidas no Anexo G – Classificação Visual de Madeira Serrada de Coníferas – do projeto de revisão da NBR 7190/97, pode-se vislumbrar as amplas possibilidades de desenvolvimento da temática com uso da digitalização, processamento e análise das imagens do material.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Procedência e desdobro do material para análise

O trabalho foi desenvolvido com madeira de *Pinus taeda* L. do Horto Florestal no município de Manduri- SP (latitude 23°00' sul, longitude 49°19' oeste e altitude de 700m). Foram amostradas ao acaso 6 árvores com aproximadamente 37 anos de idade do talhão escolhido e posteriormente desdobradas cada uma em 3 toras, com cerca de 225 cm de comprimento. Cada tora foi desdobrada em 1 prancha central (6 cm de largura) e tábuas laterais (2,5 cm de largura), com 150 cm de comprimento, e largura variável, dependente do diâmetro de cada tora. Desse desdobro resultaram 18 pranchas e 108 tábuas. Todo o processamento mecânico da madeira foi realizado na serraria do Horto Florestal de Manduri. A madeira assim obtida foi secada em um secador industrial da Madeireira Makenboy – Manduri, até atingir a umidade nominal de equilíbrio de 12%.

Na marcenaria da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Botucatu/SP, as pranchas e tábuas foram desdobradas produzindo 882 corpos-de-prova com dimensões nominais de 4,0 cm de largura, 1,6 cm de largura e 38,5 cm de comprimento. Todos os corpos-de-prova foram identificados em função dos locais de sua retirada, considerando-se a árvore, a tora e a localização na prancha ou tábua.

Num primeiro momento, foram descartados os corpos-de-prova que apresentaram falhas severas, na forma de incidência acentuada de nós, medula ou desarranjo

generalizado de fibras, de acordo com as Figuras 12 a14, respectivamente.



Figura 12 - Corpos-de-prova descartados em função da incidência severa de nós.



Figura 13 - Corpo-de-prova descartado por apresentar medula.



Figura 14 - Corpos-de-prova descartados em função da caracterização de desarranjo severo das fibras.

5.2. Ensaio físico-mecânico nos corpos-de-prova

Em trabalho paralelo a este, todos os corpos-de-prova foram mensurados, pesados (antes dos ensaios mecânicos) e secados em estufa (após realização dos ensaios físico- mecânicos) para determinação da densidade aparente e umidade, seguindo-se, no geral, o prescrito na NBR 7190/97 (ABNT, 1997).

A caracterização mecânica dos corpos-de-prova foi realizada através de ensaio de flexão estática, visando a determinação da resistência (f_M) e rigidez (E_M) a essa solicitação. Os ensaios de flexão estática foram realizados no eixo de menor inércia dos corpos-de-prova, com uma máquina universal de ensaios DL 10000, eletro-mecânica, servo-controlada e com sistema de aquisição de dados computadorizado, com capacidade de 100 kN, fabricada pela EMIC Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda (Figura 15).

Todos os procedimentos de ensaio, em termos de velocidade de carregamento e formulação para determinação do módulo de elasticidade do material seguiram o prescrito na NBR 7190/97, com as adaptações para as dimensões dos corpos-de-prova aqui utilizados.



Figura 15 – Equipamento utilizado nos ensaios de flexão estática.

Após a realização dos ensaios de flexão estática foi anotada a forma de ruptura dos corpos-de-prova, segundo metodologia apresentada pela ASTM D 143 (ASTM, 1982), na qual foi indicada se a ruptura foi abrupta (Figura 16d) ou com desfibramento (Figura 16c) e se a ruptura foi na forma de tração simples (Figura 16a) ou tração desviada – grã (Figura 16b), observáveis por vista da face lateral do corpo-de-prova.

Por essa metodologia, as letras (c) e (d) indicam, respectivamente, tração com desfibramento e tração com ruptura.

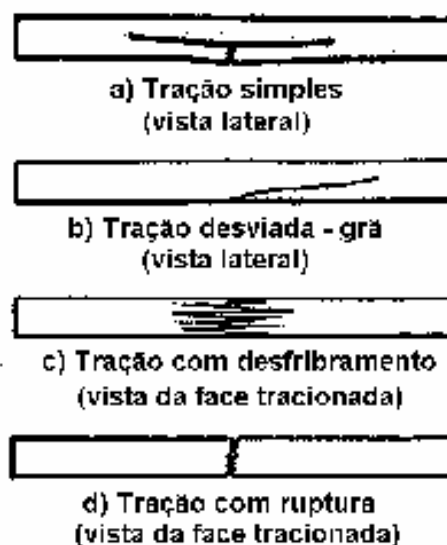


Figura 16 – Identificação da forma de ruptura.

Após essa classificação, foram descartados todos os corpos-de-prova que tiveram a ruptura evidenciada fora do terço central de seus comprimentos (Figura 17). Essa última seleção teve como objetivo eliminar os corpos-de-prova que apresentaram este tipo de ruptura, fator não detectado na primeira seleção (Figuras 12, 13 e 14).

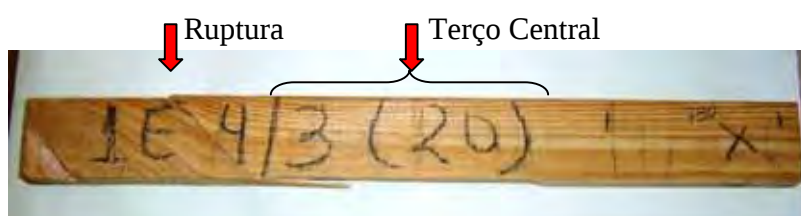


Figura 17 – Ruptura fora do terço central.

5.3 Processamento digital de imagens da seção transversal próxima à superfície de ruptura dos corpos-de-prova

Após os ensaios de flexão estática, para cada corpo-de-prova foi obtida uma amostra (com largura de, aproximadamente, 10 mm) da seção transversal íntegra mais próxima da superfície de ruptura à flexão, evidenciada no ensaio. A produção dessas amostras foi feita com uso de serra circular específica para cortes transversais, visando a

melhor qualidade de acabamento da superfície serrada.

Esses novos corpos-de-prova assim obtidos tiveram uma de suas superfícies lixadas, utilizando-se lixas de várias gramaturas, sendo o processo iniciado com lixas grossas, conforme Nogueira (1989). No processo de escaneirização, atendendo ao descrito por Herman et al. (1975), foi realizado umedecimento com água da superfície de análise, para tornar os anéis de crescimento mais distintos e nítidos.

Os corpos-de-prova foram organizados em grupos de 27 unidades cada, em modelos denominados “pranchas” (Figura 18), que tiveram a imagem escaneirizada (capturada digitalmente) através da utilização de um Scanner Hewlett Packard ScanJet 3200C. A resolução das imagens dos corpos-de-prova utilizada foi de 300 pontos por polegada (d.p.i.), no formato BitMap (BMP).

O processamento digital das imagens foi conduzido com uso de dois softwares: Idrisi 32® e ImageTool®², considerando-se especialmente suas potencialidades e a disponibilidade.

As variáveis avaliadas nas imagens digitalizadas das seções transversais próximas à ruptura nos ensaios de flexão foram:

1. o número de anéis por polegada, seguindo-se no geral, o preconizado no Anexo G do projeto de revisão da NBR 7190/97;
2. a proporção de lenho tardio na área da seção transversal dos corpos-de-prova;
3. a inclinação dos anéis de crescimento em relação à maior aresta da seção transversal dos corpos-de-prova.

² Licença de uso de propriedade da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, UNESP e licença de uso livre, desenvolvido por University of Texas Health Science Center in San Antonio, respectivamente.

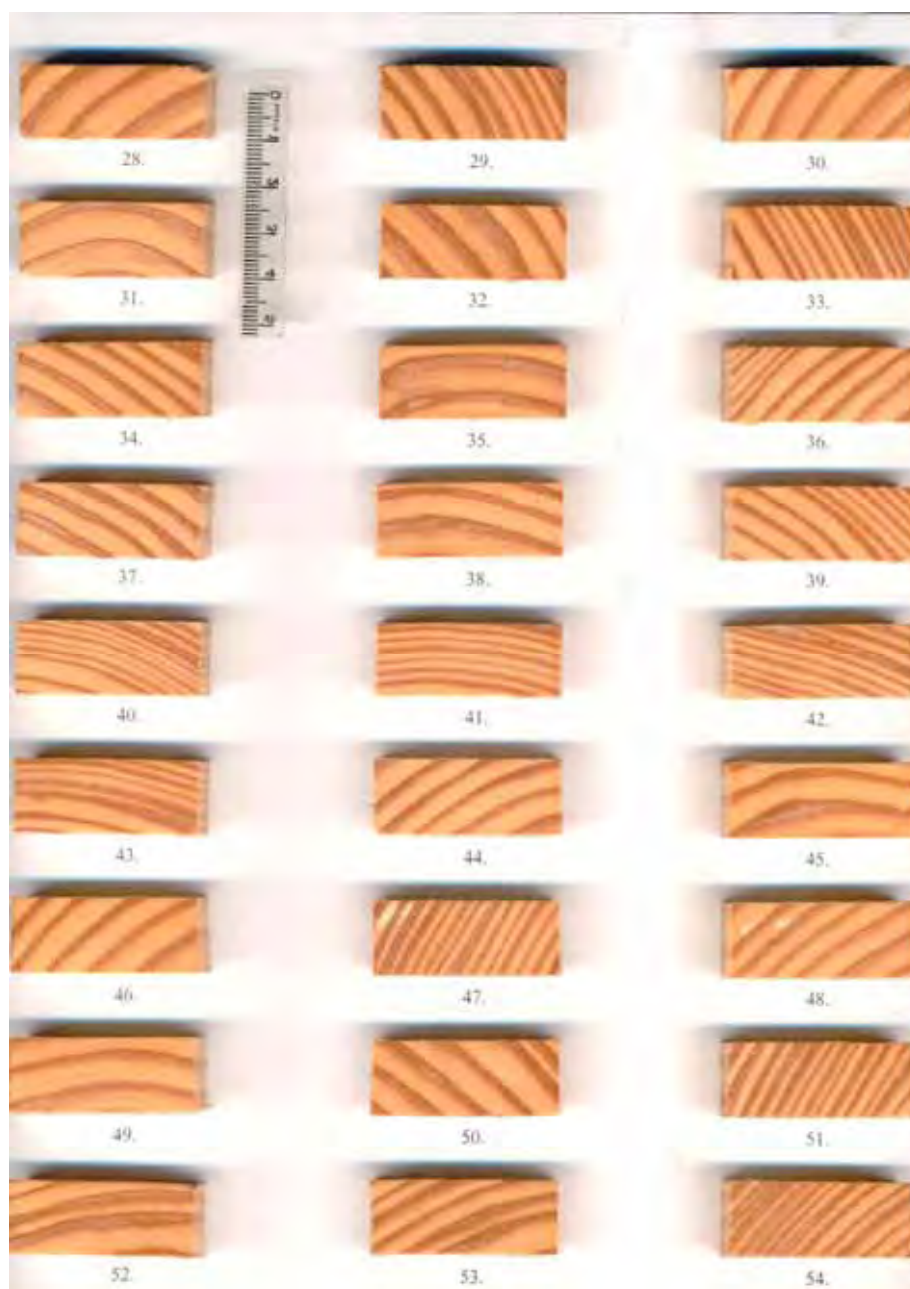


Figura 18 - Prancha modelo com os corpos-de-prova.

5.3.1 Determinação do número de anéis por polegada com o software ImageTool®

Primeiramente foi feita a calibração, utilizando uma régua escanerizada junto com a imagem a ser analisada. Para tanto, no menu, escolheu-se a opção “Settings” e, a seguir, “Calibrate Spatial Measurements” (Figura 19).

Por meio desta calibração foi definida uma referência para medições de distância.



Figura 19 – Calibração para a realização das medições com o software ImageTool®.

As medições das distâncias dos anéis de crescimento foram feitas selecionando-se a opção “Distance”, conforme mostra a Figura (Figura 20 – letra a), marcando com o mouse os pontos extremos na reta de medição (Figura 20 – letra b). O próprio software cria, automaticamente, uma tabela com a distância aferida (Figura 20 – letra c), aqui denominada distância de referência.

Na tabela, foram acrescentadas, manualmente, as informações do número de anéis de crescimento observados (figura 20, letra d) e o número de identificação do corpo-de-prova (Figura 20 – letra e)

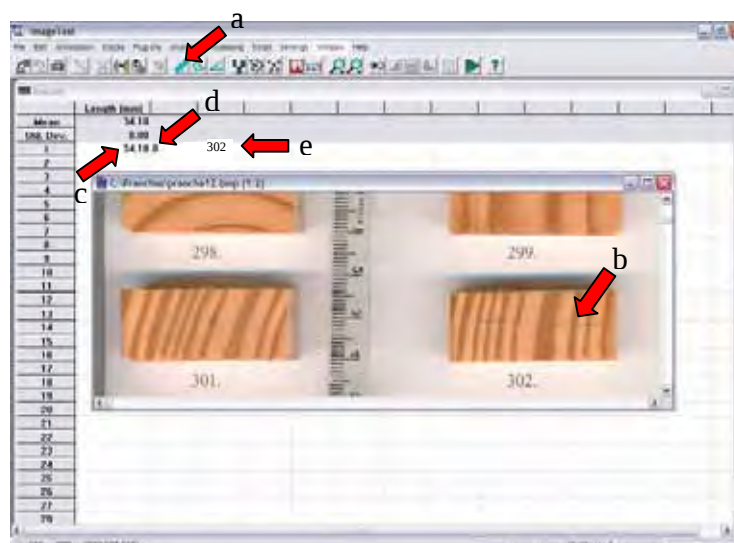


Figura 20 – Medição da distância dos anéis de crescimento com o software ImageTool®.

- a) opção “Distance”
- b) pontos extremos na reta de medição
- c) tabela com a distância aferida
- d) número de anéis de crescimento
- e) número de identificação do corpo-de-prova

O procedimento descrito foi repetido para todos os corpos-de-prova que constavam nas pranchas. Os dados assim gerados foram transferidos para uma planilha do Microsoft Excel e constam do Apêndice.

5.3.2.Determinação do ângulo de inclinação dos anéis de crescimento com o software ImageTool®

Para a medição do ângulo de inclinação dos anéis de crescimento utilizou-se a opção “Angle” (Figura 21 – letra a). A seguir, sobre a imagem do corpo-de-prova e com o auxílio do mouse, foi feita a demarcação dos três pontos extremos que formam o ângulo, começando pelo vértice (Figura 21 – letra b).

Simultânea e automaticamente, foi gerada uma tabela com os valores aferidos dos ângulos dos corpos-de-prova (Figura 21 – letra c).

Ao final das medições, todos os dados foram transferidos para uma planilha no Microsoft Excel e constam, também, do Apêndice.

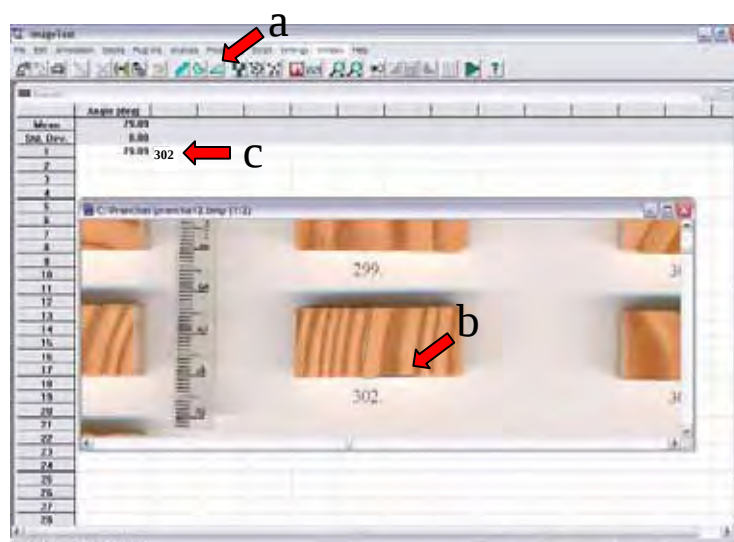


Figura 21 – Medição do ângulo de inclinação dos anéis com o software ImageTool®.

- a) opção “Angle”
- b) demarcação dos três pontos extremos que formam o ângulo
- c) tabela com os valores aferidos dos ângulos dos corpos-de-prova

5.3.3 Cálculo da proporção de lenho tardio com a utilização do software Idrisi 32®

Inicialmente, as imagens digitais de todos os corpos-de-prova foram recortadas de suas pranchas, identificadas e convertidas para 256 tons de cinza de 8 bits, com a utilização do software Adobe Photoshop, sendo, por fim, gravadas em arquivos individuais (um para cada imagem).

Os arquivos foram, individualmente, importados para o software Idrisi 32® (Figura 22 apresenta as operações iniciais da importação), com a informação do tipo de imagem (Figura 23).

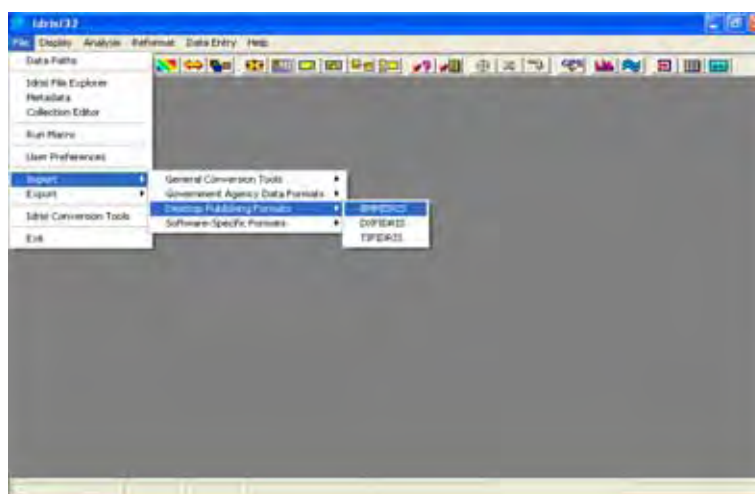


Figura 22 – Importação do software Idrisi 32®.

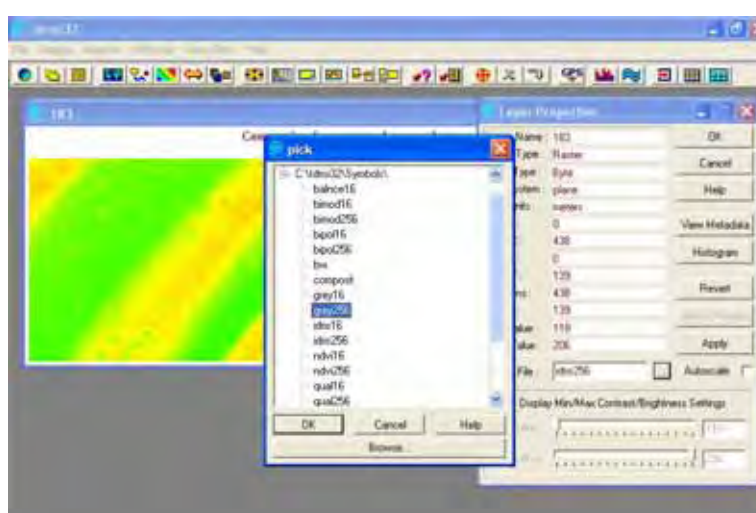


Figura 23 – Identificação do padrão da imagem importada.

A separação das áreas de lenho tardio (escuro) e lenho inicial foi realizada a partir da marcação da amostra de regiões representativas de cada uma dessas duas classes (lenho tardio e inicial). Para isso, utilizou-se a opção “makesig, mostrada na figura 24”.

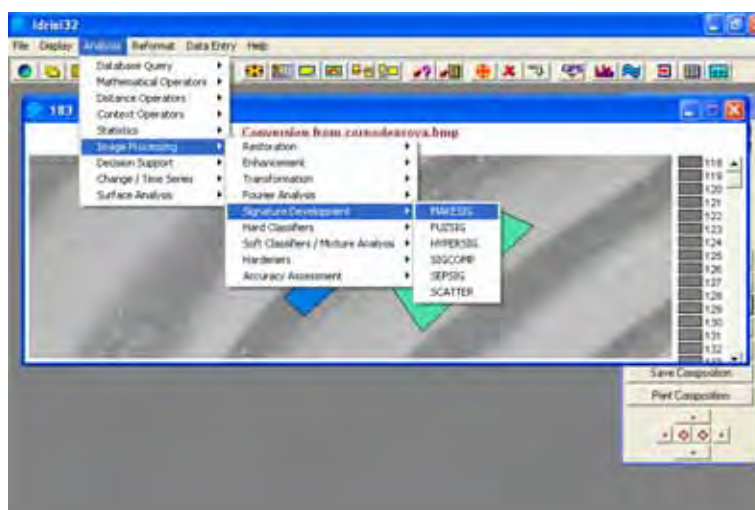


Figura 24 – Identificação de classes desejadas.

A seguir, foram identificadas as áreas sob análise como “claro” (lenho inicial) e “escuro” (lenho tardio) (Figura 25)

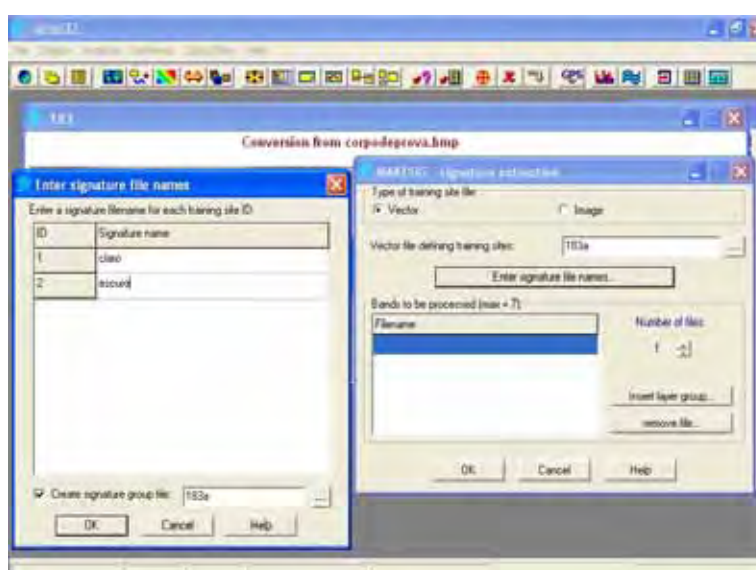


Figura 25 – Identificação das áreas em “claro” e “escuro”

Buscando-se a automatização da classificação das áreas, escolheram-se opções “hard classifiers” e “maxlike”, que permitiram uma da classificação supervisionada da imagem (Figura 26 e 27).

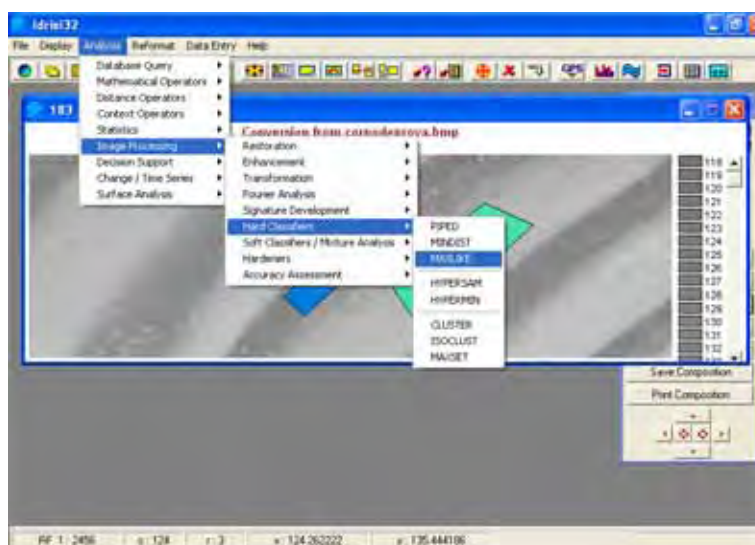


Figura 26 – Classificação supervisionada no software Idrisi 32®.

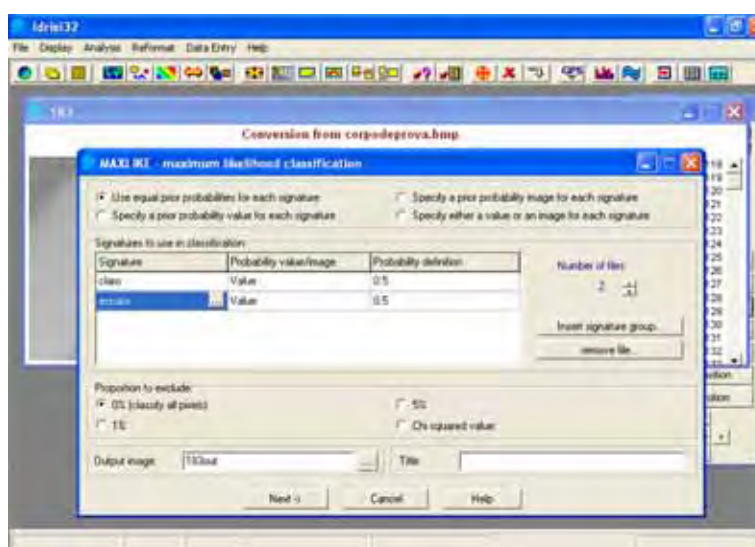


Figura 27 – Classificação supervisionada no software Idrisi 32® e as classes definidas.

A figura 28 apresenta a conversão total da área, a partir das duas áreas parciais pré selecionadas (Figura 24).

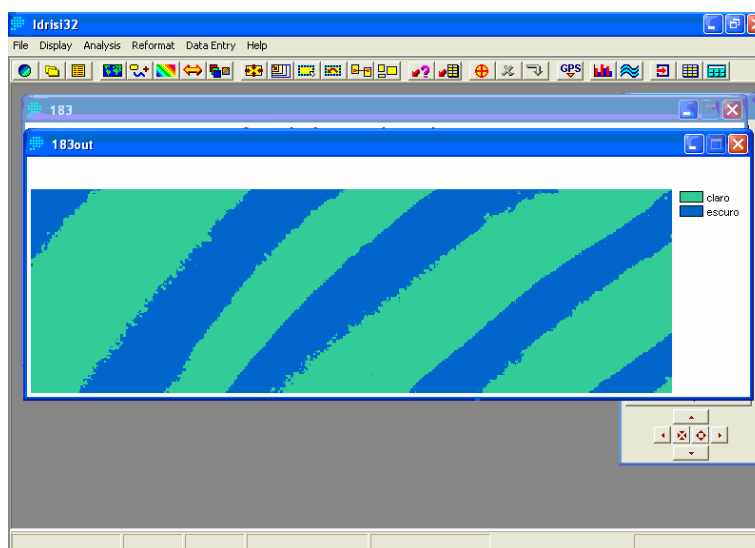


Figura 28 – Conversão de toda a área do corpo-de-prova

Com a conversão total da área sob análise em duas classes (claro e escuro), elas foram quantificadas com uso da opção “Database query” (Figuras 29 e 30). Os valores assim obtidos foram transportados para uma tabela criada no Software Microsoft Excel, onde foi, por fim, calculada a proporção de lenho tardio.

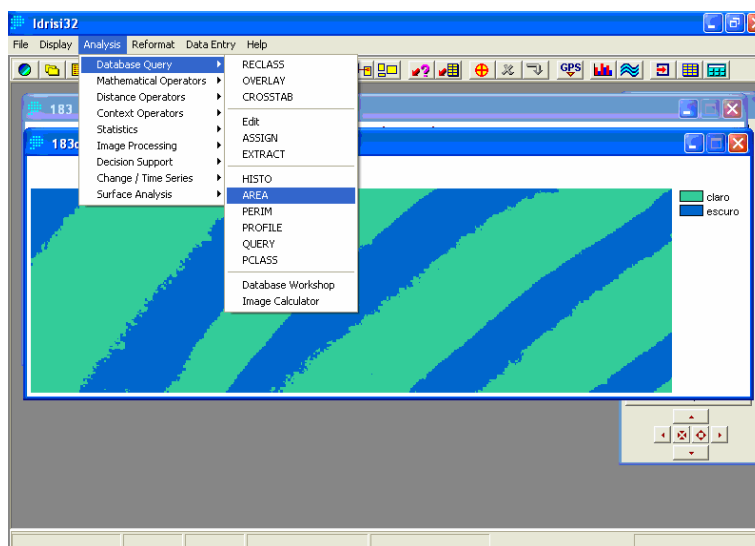


Figura 29 – Opção cálculo da área no software Idrisi 32®

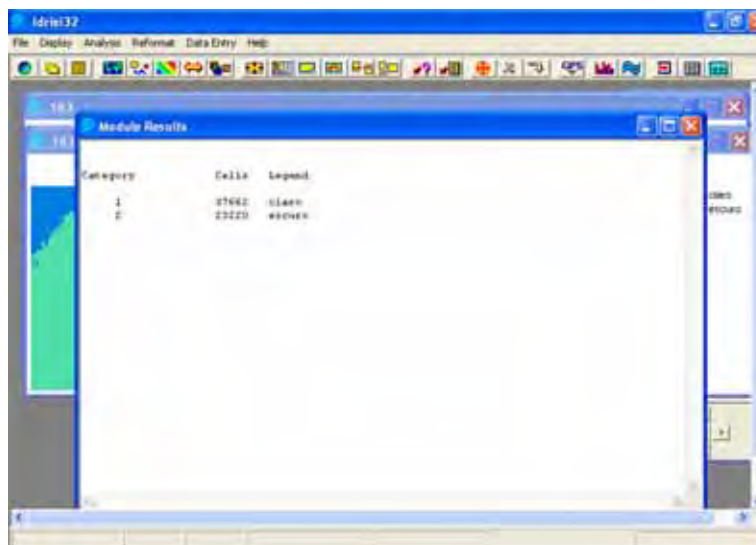


Figura 30 – Resultados do cálculo da área no software Idrisi 32®

5.4 Análise dos resultados

Atendendo aos objetivos propostos, as análises foram iniciadas com o desdobramento das 3 classes de densidade propostas pelo Anexo G da NBR 7190 (ABNT, 2003) – Figura 9 - em grupos. A partir das classes de densidade iniciais (densa, não-densa e não-estrutural) criaram-se 5 grupos, obtidos com a consideração dos mesmos limites adotados pelo anexo normativo para os quesitos definidores da densidade (número de anéis por polegada e proporção de lenho tardio), já apresentados na Tabela 4. Pelo critério aqui adotado, a classe de madeira densa originou 3 grupos distintos. As classes restantes originaram dois outros grupos (Figura 31).

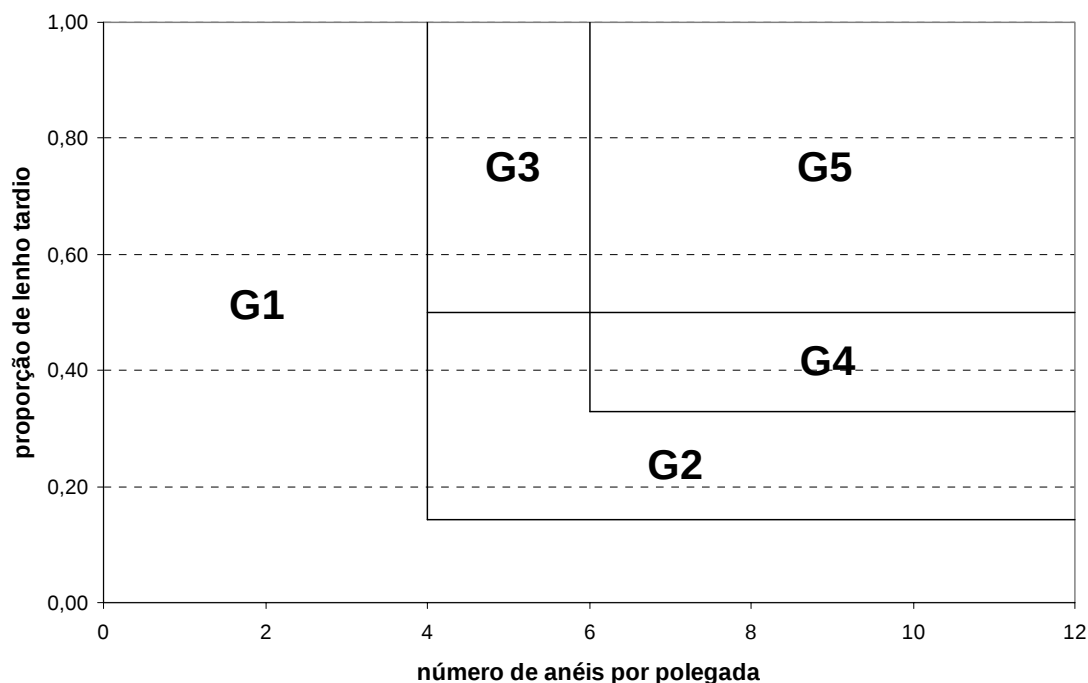


Figura 31 – Diagrama com a divisão adotada para os grupos, a partir das classes de densidade do anexo normativo (ABNT, 2003).

Baseando-se nos grupos, as análises foram conduzidas em três etapas distintas:

- Etapa 1 - Avaliação da adequação de se adotar os grupos para diferenciar madeiras de densidades distintas e a pertinência na adoção dos mesmos grupos para diferenciar madeiras em termos de comportamento mecânico (resistência e rigidez à flexão).
- Etapa 2 – Comparação de diversas associações de interesse entre os 5 grupos, a partir da análise das três características físico-mecânicas (densidade, resistência e rigidez à flexão).
- Etapa 3 – Avaliação de possíveis dissociações de interesse de grupos e conseqüente formação de novos, que melhor representem suas características físico-mecânicas.

5.4.1 Etapa 1 da análise

Considerando-se os quesitos definidores da densidade, foi feita análise de variância multivariada (MANOVA) para comparar as respostas segundo os grupos de densidade de madeira – as associações entre número de anéis e proporção de lenho tardio em

cada um dos grupos. O estudo prosseguiu com o teste de comparação múltipla de médias entre os grupos, usando-se o método de Bonferroni.

Buscando definir a diferenciação estatística entre os grupos, em termos de densidade, foi feito teste de comparação de médias. O mesmo teste foi realizado para comparação de médias entre os grupos, em termos de resistência e rigidez à flexão.

A avaliação foi concluída com uma análise de regressão linear múltipla, assumindo-se as grandezas mensuradas (proporção de lenho tardio, número de anéis por polegada e inclinação dos anéis) como independentes e a densidade como variável dependente. Em situações sucessivas, foi assumida a resistência como variável dependente e, posteriormente a rigidez à flexão.

5.4.2 Etapa 2 da análise

A partir dos testes de comparação de médias do item anterior foram estudadas diversas associações possíveis entre os grupos (fusões de dois ou mais grupos), formando novas classes - dentre elas, foi contemplada a associação que resulta nas classes do Anexo G – com as quais foram realizados novos testes de comparação de médias, usando-se o método de Scheffé.

5.4.3 Etapa 3 da análise

Para os grupos com grande número de corpos-de-prova foi, por fim, estudado o interesse em sua dissociação, com o intuito de formação de grupamentos que melhor representassem a classificação da madeira como não-estrutural, não-densa e densa.

Toda a análise estatística foi conduzida com a assessoria do Prof. Dr. Carlos Roberto Padovani, do Departamento de Bioestatística – IBB/UNESP – Botucatu.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desdobramento das seis árvores de *Pinus taeda* L. levou à produção de 882 corpos-de-prova, com dimensões nominais de 4,0 cm de largura, 1,6 cm de espessura e 38,5 cm de comprimento. Devido à presença de defeitos visuais como nós, medulas ou desarranjo das fibras e à ruptura à flexão fora do terço central de seus comprimentos – avaliada após realização do ensaio de flexão - foram descartados 226 corpos-de-prova, resultando um total de 656 corpos-de-prova para análise das características dos anéis de crescimento.

No Apêndice encontram-se tabuladas todas as características geométricas e físico-mecânicas mensuradas para cada um dos corpos-de-prova estudados.

A Tabela 5 apresenta alguns valores representativos das principais características.

Tabela 5 – Valores representativos das principais características geométricas e físico-mecânicas dos corpos-de-prova.

Valores	Comprimento	Largura	Espessura	Densidade	Resistência	Rigidez à flexão
	(cm)	(mm)	(mm)	kg/m ³	(MPa)	
Mínimo	38,0	36,4	15,4	403,0	26,6	4.797
Máximo	38,7	41,0	19,2	713,0	151,0	18.581
Médio	38,5	40,1	16,2	572,8	97,1	12.160
Desvio-padrão	0,04	0,26	0,21	62,7	22,0	2.797
C.V. (%)	0,11	0,65	1,32	10,9	22,6	23,0

C.V.: coeficiente de variação.

Pode-se observar que a densidade dos corpos-de-prova variou de 403 kg/m³ a 713 kg/m³. Comparando-se os valores limites aqui obtido com os valores médios para madeira de *Pinus* reportados na Tabela 2 conclui-se que, apesar do universo amostral ter contemplado somente a espécie *Pinus taeda* L., obteve-se um espectro amplo de variações da densidade, abrangendo os valores médios de todas as espécies reportadas na Tabela 2, das mais leves às mais densas. O mesmo pode ser comentado para as características de resistência e rigidez.

Assim, pode-se dizer que a escolha de uma única espécie de conífera para o estudo não foi um limitador na abrangência dos resultados aqui obtidos.

A Tabela 6 apresenta a quantidade de corpos-de-prova e os respectivos percentuais encontrados segundo o tipo de ruptura apresentado. Destaca-se, com 65,9%, que a forma de ruptura mais comum, encontrada nos corpos-de-prova descartados, foi do tipo b/d - tração desviada (vista lateral) com tração com ruptura (vista da face tracionada) e o total de descarte atingiu 25,6% dos 882 corpos-de-prova.

Tabela 6 – Quantidade de corpos-de-prova e percentual no lote.

		Ruptura			
		a/c (1)	a/d	b/c	b/d
Amostra inicial	882 (100%)	228 (25,9%)	245 (27,8%)	183 (20,7%)	226 (25,6%)
Descarte	226 (25,6%)	25 (11,1%)	25 (11,1%)	27 (11,9%)	149 (65,9%)
Amostra final	656 (74,4%)	203 (30,9%)	220 (33,5%)	156 (23,8%)	77 (11,7%)

Nota: (1) a classificação do tipo da ruptura segue o apresentado na Figura 16.

Visando a discretização da influência de cada um dos quesitos propostos pelo anexo normativo como condicionantes da densidade (proporção de lenho tardio e número de anéis por polegada) as classes de densidade foram divididas em 5 grupos, conforme ilustra a Figura 31 e Tabela 7.

Por essa nova divisão, a classe densa ficou representada pelos grupos G3, G4 e G5.

Tabela 7 - Classificação da madeira em grupos, a partir do número de anéis por polegada e da proporção de madeira de lenho tardio.

Classe	Grupo criado	Número de anéis/polegada	Proporção de lenho tardio
Densa	G5	≥ 6	$> 1/2$
	G4	≥ 6	$> 1/3$
	G3	≥ 4	$> 1/2$
Não-densa	G2	≥ 4	$> 1/7$
Não-estrutural	G1	Não atendem a nenhum dos critérios acima	

Pelo agrupamento adotado, observa-se que o grupo que reúne as maiores densidades é o Grupo 5 (G5), na medida em que atende, concomitantemente, aos valores máximos dos dois quesitos.

A Tabela 8 apresenta a quantidade de corpos-de-prova obtidos em cada um dos grupos definidos na Tabela 7.

Tabela 8 - Quantidade (absoluta e percentual) de corpos-de-prova por grupo e classe.

Grupo	Quantidade e Percentual	Classes (Anexo normativo)
G1	290 (44%)	Não-estrutural - 290 (44%)
G2	74 (11%)	
G3	101 (15%)	Densa – 292 (45%)
G4	48 (7%)	
G5	143 (22%)	

A Figura 32 apresenta a dispersão dos valores de número de anéis por polegada e proporção de lenho tardio obtida para os corpos-de-prova, considerando-se a divisão em grupos adotada.

Nela evidencia-se a grande quantidade de corpos-de-prova com madeira classificada como não-estrutural, já reportado na Tabela 8.

A constatação é preocupante. No caso particular deste estudo, as pequenas dimensões dos corpos-de-prova propiciaram a obtenção de elevado rendimento de desdobro, com aproveitamento quase que integral da madeira. Nessa situação espera-se obter maior aproveitamento da madeira adulta, situada mais na periferia da seção transversal das toras (Figura 2). Essa madeira periférica é normalmente mais densa, sendo enquadrada, com maior facilidade nos grupos G3 a G5 que a madeira mais interna (juvenil). Mesmo assim, obteve-se um percentual de madeira não-estrutural que compreendeu quase 50% de todo o universo estudado.

No desdobro comercial em vigas (6 cm x 12 cm ou 6 cm x 16 cm), o rendimento de desdobro seria menor, com perdas sensíveis da madeira adulta da periferia da tora, já que as vigas seriam produzidas forçosamente de regiões mais centrais da seção da tora. Nessa nova situação estima-se que o percentual de madeira não-estrutural seja ainda maior que os 44% aqui obtidos, o que se constitui em um grave limitador de critério de classificação proposto no Anexo G do código normativo (ABNT, 2003).

Pela Figura 32 pode-se observar ainda que grande parte dos corpos-de-prova do grupo G1 está posicionada próxima à divisa desse grupo com os grupos G2 e G3.

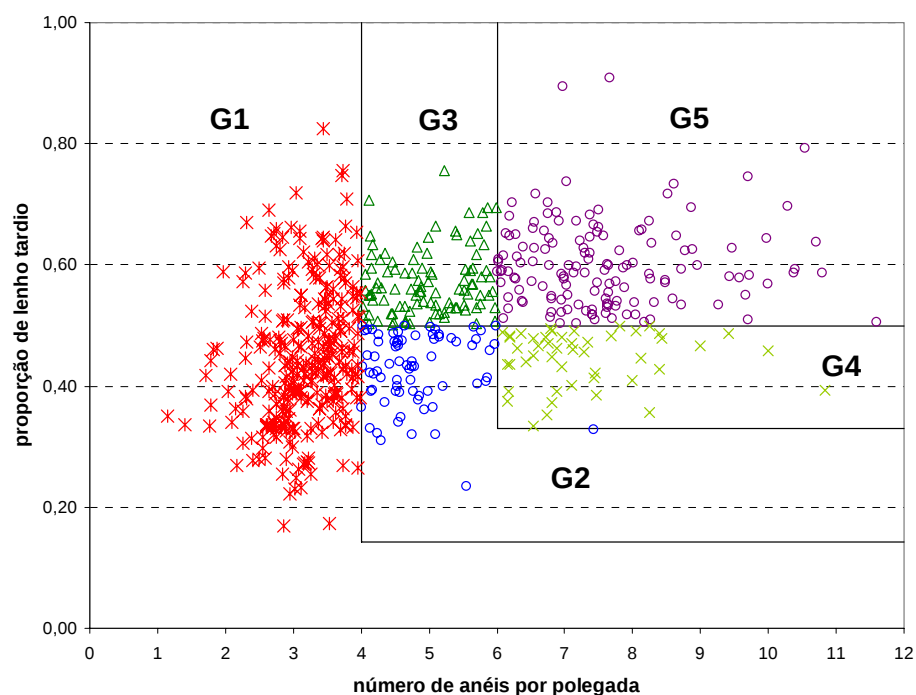


Figura 32 – Dispersão dos valores obtidos em cada corpo-de-prova para o número de anéis por polegada e proporção de lenho tardio.

A Tabela 9 apresenta as médias e os desvios-padrão para as principais variáveis mensuradas nos corpos-de-prova e o resultado do coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis. Apresenta, também, os resultados do teste de comparação de médias (método Bonferroni), realizado após análise de variância multivariada (MANOVA).

A variável ângulo de inclinação dos anéis em relação à aresta superior da seção transversal dos corpos-de-prova não foi reportada na tabela. Ela revelou não estar associada aos grupos, pelo método de comparação de médias utilizado e, por esta razão, foi eliminada das análises que se seguiram.

Tabela 9- Média e desvio-padrão dos grupos de estudo e respectivo resultado do coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis.

Grupo	Quantidade	Número de anéis por polegada	Proporção de lenho tardio	Coeficiente de correlação linear	Resultado do teste estatístico (P-valor)
G1	290	3,146 ± 0,526 a	0,447 ± 0,113 a	0,218	P<0,001
G2	74	4,809 ± 0,627 b	0,428 ± 0,059 a	0,006	P>0,05
G3	101	4,987 ± 0,606 b	0,572 ± 0,054 b	0,067	P>0,05
G4	48	7,282 ± 1,045 c	0,446 ± 0,045 a	0,038	P>0,05
G5	143	7,634 ± 1,261 d	0,600 ± 0,071 c	0,041	P>0,05

Nota: em uma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente (p>0,05)

Pelos coeficientes de correlação linear observa-se, à exceção do grupo G1, que no geral a estrutura de co-variância entre as duas variáveis (associação entre elas) é fraca, confirmando que a densidade da madeira de coníferas é dependente das duas variáveis e elas são independentes entre si.

Os resultados aqui obtidos confirmam e dão respaldo à postura expressa no Anexo G do código normativo brasileiro e em diversos outros manuais internacionais: a de se definir a densidade da madeira com base na observação de dois parâmetros distintos, independentes e indispensáveis: o número de anéis por polegada e a proporção de lenho tardio.

Do ponto de vista prático seria muito vantajosa a adoção exclusiva do quesito número de anéis por polegada para a classificação das madeiras por densidade, considerando-se a praticidade de sua mensuração. A determinação da proporção de lenho tardio é trabalhosa e de difícil execução em condições de campo.

Os resultados aqui obtidos não abonam essa prática.

A partir dos resultados obtidos para o coeficiente de correlação linear entre as duas variáveis estudadas justificou-se, então, a adoção da análise de variância simples (ANOVA).

A Tabela 10 resume os principais valores das propriedades físico-mecânicas avaliadas para os grupos.

Tabela 10 - Média e desvio padrão das variáveis físico-mecânicas da madeira segundo grupos de classificação.

Grupo	Variável		
	Densidade (kg/m ³)	Resistência à flexão (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
G1	538 ± 59	86,6 ± 19,6	10.709 ± 2.482
G2	545 ± 38	89,2 ± 18,1	11.308 ± 2.227
G3	607 ± 44	103,9 ± 20,4	12.733 ± 2.350
G4	585 ± 39	104,1 ± 14,4	13.209 ± 1.754
G5	630 ± 40	115,3 ± 16,5	14.787 ± 1.970

Os valores de densidade dos grupos G1 e G2 estão muito próximos dos valores médios reportados na Tabela 2 para coníferas de menor densidade (*Pinus hondurensis*, *Pinus bahamensis* e *Pinus oocarpa*). As densidades médias obtidas para o grupo G4 (madeira classificada como densa por apresentar elevado número de anéis por polegada) estão próximas das pináceas disponíveis no Brasil com média densidade (Pinho do Paraná, *Pinus caribea* e *Pinus elliotti*).

O valor de densidade média da espécie *Pinus taeda*, de 645 kg/m³ (Tabela 2) não é atingido, em termos médios, nem pelo grupo G5, de maior densidade entre os estudados.

Curiosamente, o referencial teórico para as madeiras norte-americanas dessa espécie (Tabela 1), reportando densidades médias da madeira de 570 kg/m³ (massa e volume da madeira avaliada no teor de umidade de 12%) foi mais pertinente que o brasileiro para o caso deste estudo.

A Tabela 11 apresenta os coeficientes de correlação de Pearson entre as grandezas físico-mecânicas da madeira dos corpos-de-prova.

Como poderia ser esperado, o maior coeficiente de correlação foi obtido na relação entre as duas grandezas mecânicas mensuradas no ensaio de flexão.

Tabela 11 – Correlação de Pearson entre as grandezas físico-mecânicas.

Variáveis consideradas	Coefficiente de correlação de Pearson (R)
Densidade e Resistência à Flexão (f_M)	0,68
Densidade e Rigidez à Flexão (E_M)	0,69
Resistência (f_M) e Rigidez à Flexão (E_M)	0,89

Nota: $p < 0,001$ para todas as correlações.

A Tabela 12 apresenta alguns valores estatísticos para as principais variáveis mensuradas nos corpos-de-prova e os resultados do teste de comparação de médias – teste de Tukey (TUKEY, 1977).

Tabela 12 - Medidas descritivas das variáveis estudadas para os grupos e teste de comparações de médias

Variável	Medida Descritiva	Grupo					Resultado do teste estatístico (P-valor)
		G1	G2	G3	G4	G5	
Nº de anéis por polegada	Média	3,15 a	4,81 b	4,99 b	7,28 c	7,63 c	P<0,05
	D. Padrão	0,53	0,63	0,61	1,05	1,26	
	C.V. (%)	16,8	13,1	12,2	14,4	16,5	
Porc. de lenho tardio	Média	0,45 a	0,43 a	0,57 b	0,45 a	0,60 b	P<0,05
	D. Padrão	0,11	0,06	0,05	0,05	0,07	
	C.V. (%)	24,4	14,0	8,77	11,1	11,7	
Inclinação dos anéis (graus)	Média	90,4 a	75,8 a	89,5 a	96,1 a	91,7 a	P>0,05
	D. Padrão	50,8	56,6	56,0	58,6	59,1	
	C.V. (%)	56,1	74,6	62,6	61,0	64,4	
Densidade (kg/m ³)	Média	538,0 a	545,1 a	607,0 b	585,1 b	629,6 c	P<0,05
	D. Padrão	58,5	37,7	43,5	38,7	40,1	
	C.V. (%)	10,9	6,91	7,16	6,61	6,38	
Resistência a Flexão (MPa)	Média	86,6 a	89,2 a	103,9 b	104,1 b	115,3 c	P<0,05
	D. Padrão	19,6	18,1	20,4	14,4	16,5	
	C.V. (%)	22,7	20,3	19,6	13,8	14,3	
Módulo de Elasticidade (MPa)	Média	10.709 a	11.308 a	12.732 b	13.208 b	14.786 c	P<0,05
	D. Padrão	2482	2227	2350	1754	1970	
	C.V. (%)	23,2	19,7	18,5	13,3	13,3	

Nota: Em uma mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente (p>0,05).

CV: Coeficiente de variação

Analisando-se os valores de densidade observa-se, inicialmente, que a sequência crescente de densidades dos grupos G1 a G5 foi, no geral, obtida. Houve uma quebra na sequência crescente entre os grupos G3 e G4, que apresentam, contudo, valores muito próximos. De fato, os grupos G3 e G4 tiveram densidades estatisticamente iguais entre si e diferentes da densidade média do grupo G5.

Cabe observar que os grupos G4 e G5 tiveram valores médios do número de anéis por polegada estatisticamente iguais, o mesmo ocorrendo para os grupos G3 e G5, em relação à proporção de lenho tardio.

Nota-se, também, que a inclinação dos anéis, em relação à face do corpo-de-prova, não está associada aos grupos, conforme já comentado.

O mesmo comportamento observado para a densidade, em termos de diferenciação entre os grupos, foi observado para a resistência e rigidez à flexão, ou seja, para as três propriedades $G1=G2 < G3=G4 < G5$. Assim, conclui-se que com os limites definidos pelo Anexo G do código normativo (ABNT, 2003) para os quesitos definidores da densidade da madeira, os grupos apresentam diferenciação, também, em termos do desempenho mecânico à flexão (resistência e rigidez), nos mesmos moldes do observado para a densidade.

A Tabela 13 apresenta, por fim, as equações das regressões lineares múltiplas entre as propriedades físico-mecânicas observadas e as grandezas utilizadas na definição das características do lenho do *Pinus taeda* L. .

O primeiro grupo de equações foi feito desconsiderando a interação entre as variáveis número de anéis por polegada e proporção de lenho tardio.

O segundo grupo de três equações considera a interação entre as variáveis. Verifica-se que ela não proporcionou melhoria significativa nos coeficientes de determinação, que em todas as situações reportadas ficaram abaixo dos 70%.

Tabela 13 - Modelo de regressão múltipla do desempenho físico-mecânico.

Modelo de regressão	Coef. Determ. R^2 (%)	Teste do ajuste do modelo
$\rho = 363,17 + (9,78*N) + (324,97*LT)$	60,36%	$P < 0,0001$
$f_M = 43,62 + (3,96*N) + (68,38*LT)$	36,73%	$P < 0,0001$
$E_M = 5347,49 + (622,14*N) + (7564,40*LT)$	41,31%	$P < 0,0001$
$\rho = 287,21 + (27,31*N) + (473,66*LT) - (33,05*N*LT)$	61,62%	$P < 0,0001$
$f_M = 28,05 + (7,56*N) + (98,86*LT) - (6,78*N*LT)$	37,08%	$P < 0,0001$
$E_M = 3810,68 + (976,74*N) + (10572,80*LT) - (668,68*N*LT)$	41,50%	$P < 0,0001$
Notas:		
ρ - densidade	N – número de anéis por polegada	E_M - módulo de elasticidade
f_M - resistência à flexão	LT – proporção de lenho tardio	
Todos os coeficientes das regressões resultaram significativos ($P < 0,05$).		

Dois aspectos particulares da primeira etapa de análise merecem atenção especial:

- o grupo G5 (representante de uma parcela da classe densa) apresentou, para os três parâmetros físico-mecânicos estudados (densidade, resistência e rigidez a flexão), diferenciação estatística em relação aos grupos G3 e G4, que completam a classe densa do anexo normativo.

- os grupos G1 (representante da classe não-estrutural) e G2 (representante da classe não-densa) não apresentaram diferenciação estatística para os três parâmetros sob análise.

Assim, conforme já comentado na metodologia, nas etapas seguintes de análise estudaram-se otimizações nas formações dos grupos, a partir de associações entre eles ou de dissociações dos grupos originais.

Considerando-se que o grupo G5 representava os corpos-de-prova com características de lenho muito particulares (elevado número de anéis por polegada e elevada proporção de lenho tardio), de ocorrência muito pouco freqüente no desdobro comercial em vigotas (seções de 6 cm x 12 cm ou 6 cm x 16 cm), estudou-se, em uma segunda etapa, a associação dos grupos G3, G4 e G5 (restituindo a classe densa do anexo normativo) e o comportamento do contraste em relação aos grupos G1 e G2, que permaneceram sem alteração.

A análise foi conduzida com o uso do teste de Scheffé, que mantém a hipótese inicial H_0 de nulidade de contrastes entre as associações.

Os resultados principais das comparações estão apresentados na Tabela 14, que reporta, de forma única, os resultados para os três parâmetros.

Tabela 14 – Resultados dos contrastes entre as associações dos grupos G1 a G5 originais, quando comparados em termos de densidade e resistência e rigidez à flexão dos seus corpos-de-prova.

Contraste	Classes correspondentes do Anexo G (ABNT, 2003)	Resultado do teste estatístico (P-valor)
G1 x G2	Não-estrutural x não-densa	P>0,001
G1 x (G3 + G4 + G5)	Não-estrutural x densa	P<0,001
G2 x (G3 + G4 + G5)	Não-densa x densa	P<0,001
(G1 + G2) x (G3 + G4 + G5)	(não-estrutural + não-densa) x densa	P<0,001

O teste de Scheffé revelou que o novo grupo formado pela associação dos grupos originais G3, G4 e G5 mantinha diferença estatística significativa com os grupos G1 e G2, bem como com uma associação entre eles ($p<0,001$), para as três propriedades analisadas (densidade, resistência e rigidez à flexão).

O teste confirmou, ainda, a igualdade estatística entre os grupos G1 e G2, para as três propriedades.

Dessa forma, priorizando-se os aspectos práticos que um processo de agrupamento deve contemplar, optou-se por fundir os grupos G3 a G5 em um único grupo, reconstituindo a classe de madeira densa do anexo G do código normativo (ABNT, 2003).

Numa terceira etapa de análise, considerando-se os grupos G1 (representante da classe não-estrutural do anexo normativo) e G2 (representante da classe não-densa) não apresentaram diferenciação estatística nas três propriedades estudadas (ver dados na Tabela 12), e tendo-se em conta que o grupo G1 abrigava 44% de todo o universo amostral (porcentagem considerada elevada em se tratando de uma classe de madeira que seria descartada para uso estrutural), avaliou-se a dissociação do grupo G1 em dois grupos menores: G1A e G1B.

Considerou-se o valor de 3 anéis por polegada como divisor interno do grupo G1. A Figura 33 ilustra a dissociação do grupo G1 e conseqüente formação dos grupos G1A e G1B.

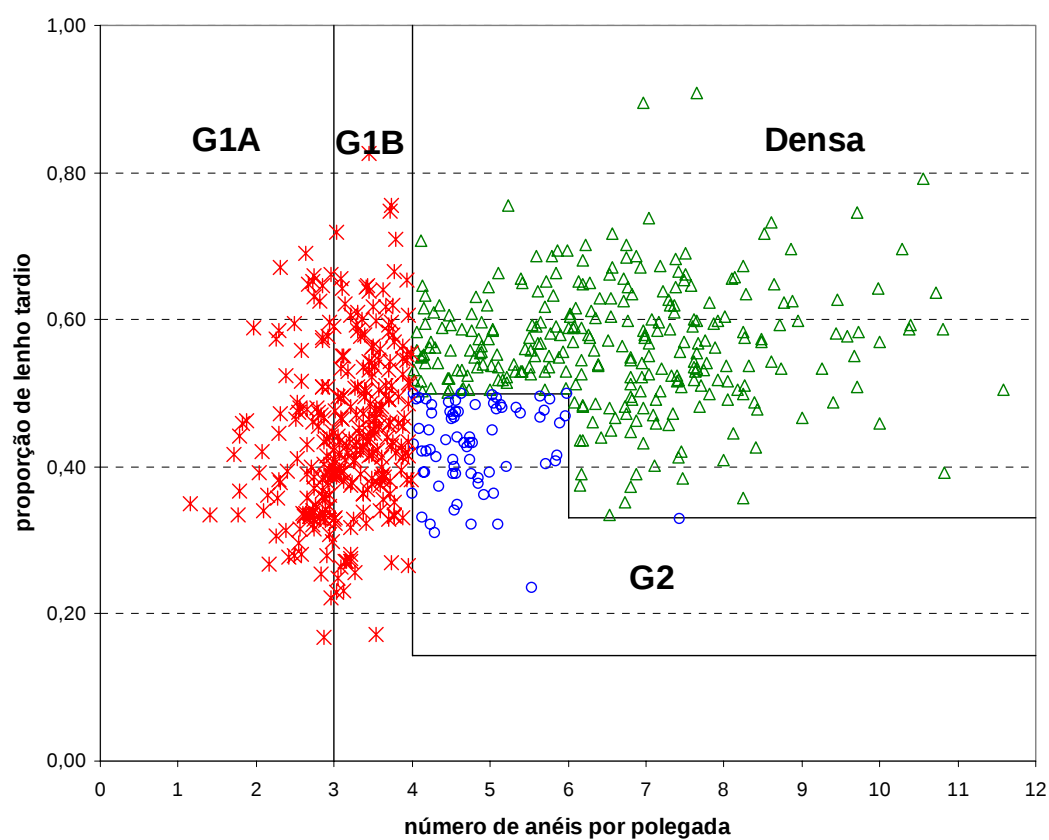


Figura 33– Dissociação do grupo G1 em G1A e G1B.

A Tabela 15 apresenta as medidas descritivas para as variáveis estudadas e o teste de comparação de médias para os novos grupos (G1A, G1B e G2).

Tabela 15 - Medidas descritivas das variáveis estudadas para a dissociação do grupo G1.

Variável	Medida Descritiva	Grupo			Resultado do teste estatístico (P-valor)
		G1A	G1B	G2	
Nº de anéis por polegada	Média	2,61 a	3,48 b	4,81 c	P<0,0001
	D. Padrão	0,37	0,28	0,63	
	C.V. (%)	0,14	0,08	0,13	
Porc. de lenho tardio	Média	0,42 a	0,46 b	0,43 a	P<0,005
	D. Padrão	0,11	0,11	0,06	
	C.V. (%)	0,26	0,24	0,14	
Densidade (kg/m ³)	Média	523,1 a	547,1 b	545,1 b	P<0,001
	D. Padrão	62,4	54,1	37,7	
	C.V. (%)	0,12	0,10	0,07	
Resistência a Flexão (MPa)	Média	81,1 a	90,0 b	89,2 b	P<0,001
	D. Padrão	19,3	19,1	18,1	
	C.V. (%)	0,24	0,21	0,20	
Módulo de Elasticidade (MPa)	Média	10.034 a	11.122 b	11.308 b	P<0,001
	D. Padrão	2.461	2.410	2.228	
	C.V. (%)	0,25	0,22	0,20	

Para as três propriedades físico-mecânicas, o comportamento geral observado foi: G1A < G1B = G2.

Assim, adotando-se como limitador o valor de 3 anéis por polegadas ter-se-ia uma melhor diferenciação estatística entre as classes não-densa e não-estrutural.

Essa proposta promoveu, ainda, uma drástica redução no percentual de corpos-de-prova classificados como madeira não-estrutural. De fato, comparando-se o percentual de corpos-de-prova dos grupos iniciais (Tabela 5) com os obtidos na dissociação promovida (Tabela 16), acusa-se uma redução dos originais 44% para cerca de 17% dos corpos-de-prova do lote.

Tabela 16 - Quantidade (absoluta e percentual) de corpos-de-prova por grupo e classe.

Grupo	Quantidade e Percentual	Classes (Proposta ao anexo normativo)
G1	110 (16,8%)	Não-estrutural
G2	254 (38,7%)	Não-densa
G3	292 (44,5%)	Densa

Concluindo-se as análises conduzidas, a Figura 34 e a Tabela 17 apresentam as classes de madeira densa, não-densa e não-estrutural, definidas pelos limitadores que o estudo experimental conduzido mostrou serem os mais adequados para a promoção da diferenciação das madeiras, em termos de densidade, resistência e rigidez à flexão.

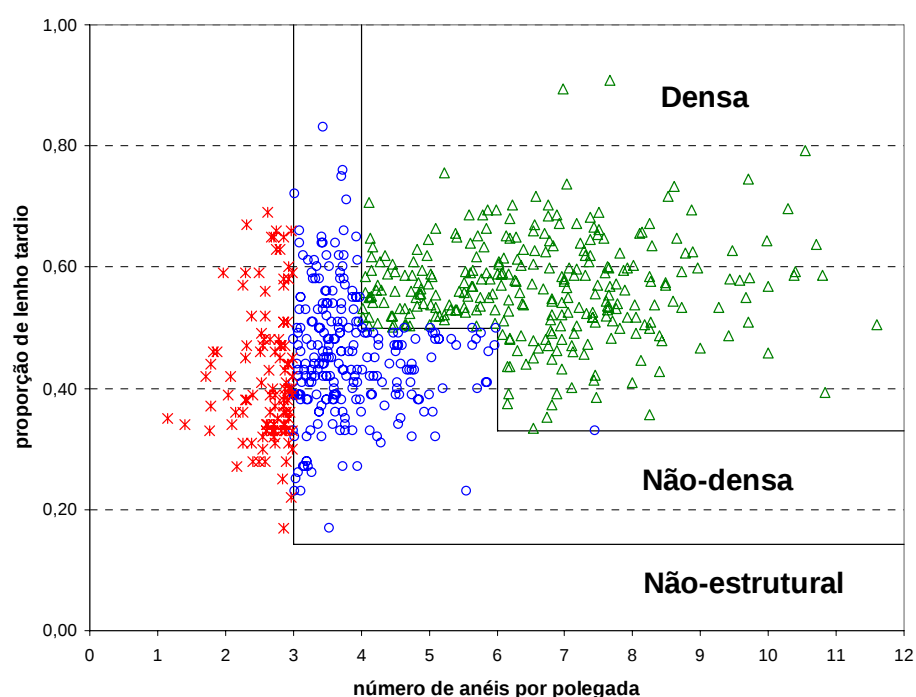


Figura 34 – Definição final das novas classes e dispersão dos valores obtidos em cada corpo-de-prova.

Tabela 17 – Proposta de classificação da madeira em grupos, a partir do número de anéis por polegada e da proporção de madeira de inverno.

Classe	Grupo criado	Número de anéis/polegada	Proporção de lenho tardio
Não-estrutural	G1	Não atendem a nenhum dos critérios abaixo	
Não-densa	G2	≥ 3	$> 1/7$
Densa	G3	≥ 4	$> 1/2$
		≥ 6	$> 1/3$

7. CONCLUSÕES.

Estudou-se neste trabalho a influência das características dos anéis de crescimento em algumas propriedades físico-mecânicas principais da madeira de *Pinus taeda* L.. A escolha de uma única espécie de conífera não foi um limitador na abrangência dos resultados aqui obtidos, considerando-se o espectro amplo de variações da densidade da madeira amostrada abrangeu os valores médios de todas as espécies desse gênero, de uso comercial no Brasil.

Do programa experimental desenvolvido podem-se extrair as seguintes conclusões:

- a utilização de softwares de processamento digital de imagens agilizou os processos de aquisição e processamento dos dados de área (proporção de lenho tardio), inclinação dos anéis (ângulo) e número de anéis por polegada;
- a divisão da madeira em três classes de densidade (não-estrutural, não-densa e densa), com uso dos delimitadores propostos pelo Anexo G do código normativo levou à classificação de 44% do lote estudado como madeira não-estrutural;
- a divisão da madeira em três classes de densidade (não-estrutural, não-densa e densa), com uso dos delimitadores propostos pelo Anexo G do código normativo não diferenciou as madeiras das classes não-estrutural e não-densa, em termos de densidade, resistência e rigidez à flexão;

- a classificação da madeira por densidade a partir das características dos anéis de crescimento deve ser feita com base na observação de dois parâmetros distintos e independentes: o número de anéis por polegada e a proporção de lenho tardio. Cabe ressaltar que ambos influenciam na densidade, resistência e rigidez à flexão da madeira do *Pinus taeda* L.;
- a variável ângulo de inclinação dos anéis de crescimento em relação à aresta maior dos corpos-de-prova (aqui utilizados com dimensões nominais 16mm x 40mm x 385mm) não influenciou na densidade da madeira nem nos parâmetros mecânicos estudados (resistência e rigidez à flexão estática);
- uma pequena parcela da madeira da classe densa (que apresenta mais de 6 anéis por polegada e mais de 50% de lenho tardio) tem comportamento diferenciado no tocante à densidade, resistência e rigidez à flexão, quando comparada ao restante dessa classe. Contudo, considerando-se serem essas características de ocorrência pouco freqüente nos desdobros comerciais, não se justifica a criação de uma classe adicional para essa parcela;
- a divisão da classe de madeira não-estrutural em dois lotes (parte inferior: menos de 3 anéis por polegada e parte superior: entre 3 –inclusive- e 4 anéis por polegada) permitiu a diferenciação estatística entre eles (em termos de densidade, resistência e rigidez à flexão);
- o lote referido como superior na classe não-estrutural, por ter igualdade estatística com a classe da madeira não-densa pode ser agrupado a ela, reduzindo-se o percentual de madeira não-estrutural para cerca de 17% do lote estudado;
- a classificação da madeira em classes de densidade (aplicável também à resistência e rigidez à flexão) que promoveu uma mais efetiva diferenciação da madeira entre as classes foi obtida com os seguintes delimitadores:

Proposta de classificação da madeira em grupos, a partir do número de anéis por polegada e da proporção de madeira de inverno.

Classe	Grupo criado	Número de anéis/polegada	Proporção de lenho tardio
Densa	G3	≥4	>1/2
		≥6	>1/3
Não-densa	G2	≥3	>1/7
Não-estrutural	G1	Não atendem a nenhum dos critérios abaixo	

Na continuidade dessa linha de pesquisa entende-se como prioritário o estudo de formas mais práticas de determinação da proporção de lenho tardio na madeira.

8. REFERÊNCIAS*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estrutura de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto CE-02:126.10**. Revisão: projeto de estruturas de madeira: anexo G: classificação visual de madeira serrada de coníferas. Rio de Janeiro, 2003. 15 p.

ABRAHÃO, C.P. et al. Quantificação da falha na madeira em juntas coladas utilizando técnicas de visão artificial. **Revista da Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 71-78, 2003.

AMERICAM SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS – **ASTM D 143**, West Conshohocken, 1982.

AMERICAM SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS – **ASTM D 245-93**. Standard practice for establishing structural grades and related allowable properties for visually graded lumber. West Conshohocken, 1998.

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

BALLARIN, A.W.; LARA PALMA, H.A. Resistência e rigidez da Madeira *Pinus*. **Revista da Madeira**, São Paulo: 38- 42, 2004.

BERNI, C. A.; BOLZA, E.; CHRISTENSEN, F. J. **South American timbers**: the characteristics, properties and uses of 190 species. Melbourne: Ivory House, 1979. 229 p.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. Mechanics of wood and wood composites. New York: Van Reinhold Company, 1982. 712 p.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

*ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 22p.

BIOSIS. **Serial sources for the BIOSIS preview database**. Philadelphia, 1996. 468p.

- CARREIRA, M. R. Critérios para a classificação visual de peças estruturais de *Pinus* sp. 2003. 164p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos.
- COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. (Ed.). **Methods of dendrochronology**: applications in the environmental sciences. Dordrecht: Kluwer Academic Publications, 1989. 394 p.
- COWN, D. J. Variation in tracheid dimensions in the stem of a 26-year-old radiata pine tree. **APPITA**, Carlton, v. 28, n. 4, p. 237 – 245, jan. 1975.
- CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170 p.
- DISPERATI, A. A. **Obtenção e uso de fotografias aéreas de pequeno formato**. Curitiba: UFPR, 1991. 290 p.
- EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows user's guide version 2.0 introduction**. Worcester. Graduate School of Geography, Clark University, 1997. 205 p.
- FINDLAY, W. P. K. **Timber**: properties and uses. London: Granada, 1978. 224 p.
- FUJIWARA, S.; YANG, K. C. The relationship between cell length and ring width and circumferential growth rate in five Canadian species. **IAWA Journal**, Leiden, v. 21, n3, p. 335 – 345, 2000.
- GONÇALVEZ, M.T.T. **Processamento da madeira**. Bauru, 2000. 242 p.
- GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000. 509 p.
- GREEN, D.W.; WINANDY, J.E.; KRETACHMANN, D.E. Wood handbook: wood as an engineering material. In: Mechanical properties of wood. Washington, D.C. USDA, 1999.chap.4.
- GRISSINO-MEYER, H. Tree ring web pages. Disponível em <<http://www.ltr.arizona.edu/~grissino/henri.htm>>. Acesso em: 12 set. 2005.
- HERMAN, F. R.; DEMARS, D. J.; WOOLLARD, R. F. **Field and computer techniques for stem analysis of coniferous forest trees**. Washington: Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, Forest Service, USDA, 1975. 51 p.
- HELLMEISTER, J.C. Madeiras e suas características. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1, 1983, São Carlos. **Anais...** São Carlos: USP, 1983. v.1.
- HERNANDEZ, F.P.; SHIMABUKURO, Y.E. **Estabelecimento de metodologia para avaliação de povoamentos florestais artificiais, utilizando-se dados do Landsat**. São José dos Campos: INPE, 1978. 169 p. (INPE 1271- TPT- 098).
- INSTITUTO FLORESTAL. Disponível em: <http://www.iflorestsp.br/dfee/novos_rumos.htm>. Acesso em: 29 ago. 2005.
- JAGELS, R.; TELEWSKI, F. W. Computer-aided image analysis of tree rings. In: COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. (Ed.). **Methods of dendrochronology**: applications in the environmental sciences. Dordrecht: Kluwer Academic Publications, 1989. p. 76-93.

- KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Physiology of woody plants**. New York: Academic Press, 1979. 811 p.
- KOCH, P. **Utilization of the southern pines**. Madison: USDA, 1972. v. 1, 734 p.
- KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R.H. **A cultura do *Pinus* no Brasil**. Páginas e Letras, 2005. 156 p.
- LARA PALMA, H.A.; BALLARIN, A.W. Propriedades de contração na madeira juvenil e adulta de *P. taeda* L. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 64, p. 13-22, 2003.
- LARSON, P. et al. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis**. Madison: USDA, 2001. 42 p.
- LIU, C. J. Tree ring scanner: an automatic tree-ring-measuring machine. In: SOLOMON, D. S.; BRANN, T. B. (Ed.). **Environmental influences on tree and stand increment: proceedings of the IUFRO Conference S4:01-00 and S4:01-06**. Maine: Maine-Agricultural-Experimental-Station, 1985. p. 129-132. (Miscellaneous Publication, 691).
- LOO, J.A.; TAUER, C.C.; MCNEW, R.N. Genetic variation in the time of transition from juvenile to mature wood in loblolly pine (*Pinus taeda*). **Silvae Genetica**, Frankfurt, v.34, p14-19, 1985.
- McALISTER, R.; CLARK, A. Effect of geographic location and seed source on the bending properties of juvenile and mature loblolly pine. **Forest Products Abstracts**, Faenham Royal, v. 4, n. 9, p. 39-41, 1991.
- MONTGOMERY, D. C. Design and analysis of experiments. 3. ed. Singapore: J. Wiley, 1991. 649 p.
- MUÑIZ, G. I. B. de. **Descrição da estrutura e ultraestrutura da madeira de cinco espécies de *Prosopis* da Argentina e análise da metodologia**. 1986. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- NOGUEIRA, A. C. **Reação do crescimento radial da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze. em florestas naturais que sofreram corte seletivo**. 1989. 107 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- OLIVEIRA, M. Madeira valiosa. **Revista FAPESP**, v. 5, n. 115, p. 32, 2005.
- PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 722 p.
- PEREIRA, R. S. Interpretação automática de imagens aplicada ao planejamento rural. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7., 1992, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata, 1992. p. 1991-1210.
- PHAM, D.T.; ALCOCK, R.J. Automated grading and defect detection: a review. **Forest Products Journal**, Frankfurt, v.48, n.4, p.34-42, 1998.
- RICHTER, H. G.; BURGER, L. M. **Anatomia da madeira**. 2. ed. Curitiba, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia e Tecnologias Rurais, UFPR, 1978. 76 p.

- RIGOZO, N.R.; NORDEMANN, D.J. **Tree ring image interactive treatment**. São José dos Campos: [s.n.], 2000. (Não publicado).
- ROSOT, M.A.D.; FIGUEIREDO FILHO, A.F.; DISPERATI, A.A. Medição da área de anéis de crescimento usando imagens digitais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.25, n.1, p. 79-88, 2001.
- ROSOT, M.A.D. **Processamento digital de imagens aplicado à medição de anéis de crescimento na análise de tronco**. 2002. 206 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- SHIMOYAMA, V.R.; BARRICHELO, L.E.G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24. 1991, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ABTCP, 1991.
- SIMÕES, J.W. et al. **Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento**. Brasília: IBDF, 1981. 131 p.
- SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1993. 293 p.
- SHIMIZO, J.Y. Pinus na silvicultura brasileira. **Revista da Madeira**, São Paulo, p.22-28, 2004.
- SPIECKER, H. **Análise do crescimento florestal: concorrência e sua importância no desbaste**. Curitiba: FUPEF, 1981. 62 p.
- SOUTHERN PINE INSPECTION BUREAU. **Standard grading rules for southern pine lumber**. Pensacola, Flórida. 1994.
- STANALKER, J.J.; HARRIS, E.C. **Structural design in wood**. New York: Chapman and Hall, 1989. 426 p.
- THETFORD, R.D.; D'ARRIGO, R.D.; JACOBY, G.C. Na image analysis system for determining densiometric and ring-width time series. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.21, p. 1544-1549, 1991.
- TOMASELLI, I. **Estudos da densidade básica e dimensões de traqueóides de povoamentos de *Pinus elliotti* e *Pinus taeda***. Curitiba: FUPEF, 1978. 54 p. (FUPEF, BRASKRAF).
- TOMASELLI, I. Planted forests in Brazil. In: PLANTED FORESTS IN SARAWAK: AN INTERNATIONAL CONFERENCE, 1998, Sarawak. **Proceedings...** Kuching Forest Department Sarawak, 1998. p. 2-35.
- TUOTO, M; HOEFLICH, V.A.; SYLVESTRE, A.H. Mercado internacional de produtos de madeira sólida de *Pinus*. **Revista da Madeira**, São Paulo: p.6-8, 2004.
- TUKEY, J. W. Reading. In: **Exploratory data analysis**. Massachusetts: Addison-Wesley, 1977. 499p.
- USDA FOREST SERVICE. **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Washington, 1999. 474p.

USDA FOREST SERVICE. *Pinus taeda*. Disponível em:
<<http://www2.fpl.fs.fed.us/TechSheets/softwoodna/htmldocs/pinustaeda.html>>. Acesso em: 12 nov. 2004.

YANOSKY, T. M.; ROBINOVE, C. J. Digital image measurement of the area and anatomical structure of tree rings. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 64, p. 2896-2902, 1986.

YING, L.; KRETSCHMANN, D.; BENDTSEN B. Longitudinal shrinkage in fast-grown loblolly pine plantation wood. **Forest Products Abstracts**, Frankfurt, v.44, n.1, p.58-62, 1994.

WHEELER, E. A. **Wood anatomy & properties**. Disponível em:
<<http://courses.nscu.edu/classes/wps202001/202syl/wps202.html>>. Acesso: 28 out. 2005.

ZOBEL, D.J. Inherent differences affecting wood quality in fast grown plantations. In: Oxford. **IUFRO**, v.50, p.169-188, 1980.

APÊNDICE

Dados obtidos dos corpos-de-prova estudados

Grupo	C.P.	Anéis Observados	Distância ref. (mm)	Nº Anéis por polegada	% Lenho Tardio	Inclinação dos anéis (°)	Seção Transversal		Dens (Kg/m³)	Resist. Flexão f_t (MPa)	Módulo de Elasticidade E_s (MPa)	Tração/Ruptura	
							Altura (mm)	Largura (mm)				Simples (a) Desviada (b)	Desfibramento (c) Ruptura (d)
G1	7	5	32,84956	3,87	0,4	87,01	16,36	40,26	544	111,98	12383	a	c
G1	10	5	36,84414	3,45	0,46	106,98	16,45	40,35	560	83,28	12257	b	c
G1	12	4	29,65823	3,43	0,37	98,49	16,41	40,29	489	74,1	9739	b	d
G1	15	4	31,05074	3,27	0,51	104,45	16,32	40,13	558	58,6	9124	b	c
G1	17	5	36,28643	3,5	0,42	106,1	16,21	40,35	528	87,06	11545	b	c
G1	18	4	29,15254	3,49	0,38	91,77	16,09	40,39	526	80,43	11334	b	c
G1	19	4	29,49506	3,44	0,83	52,92	16,47	40,4	484	70,31	9170	b	c
G1	23	5	34,30529	3,7	0,33	105,31	16,03	40,48	559	97,42	12728	b	c
G1	27	2	16,86632	3,01	0,48	7,43	16,2	40,19	533	86,79	12001	b	d
G1	28	3	26,65386	2,86	0,34	39,52	16,27	40,11	537	86,61	11921	a	d
G1	30	5	36,01924	3,53	0,45	53,13	16,12	40,05	528	79,73	11896	b	c
G1	31	2	12,84786	3,95	0,27	1,49	16,37	40,38	522	90,78	11161	a	d
G1	32	4	34,20371	2,97	0,4	133,17	16,25	40,03	544	93,65	13025	b	c
G1	35	2	14,85833	3,42	0,32	0	15,89	40,22	568	89,73	11338	b	d
G1	45	2	15,08855	3,37	0,34	9,11	16,06	40,03	524	95,28	11739	a	d
G1	46	4	27,26497	3,73	0,27	35,93	16,23	40,32	508	86,12	11190	b	c
G1	49	2	14,55359	3,49	0,38	7,99	16,21	40,06	540	101,66	13510	b	d
G1	50	4	27,7599	3,66	0,51	139,07	16,24	40,32	529	88,25	12917	a	d
G1	67	3	27,79661	2,74	0,33	85,74	16,25	40,29	533	88,2	11122	b	c
G1	69	3	28,03791	2,72	0,34	119,2	16,39	40,34	502	83,12	12123	b	d
G1	70	3	29,83821	2,55	0,32	88,84	16,48	40,36	485	81,54	10253	a	c
G1	71	4	36,08578	2,82	0,33	61,82	16,55	40,3	491	90,31	12158	a	c
G1	76	3	25,46889	2,99	0,33	123,42	16,54	40,45	509	83,92	11538	b	c
G1	77	4	32,91192	3,09	0,39	98,1	16,35	40,29	516	88,91	11749	b	c
G1	79	3	25,28334	3,02	0,39	88,86	16,52	40,32	492	89,78	11372	b	c
G1	80	4	35,1322	2,89	0,33	117,26	16,42	40,28	494	81,96	11586	b	c
G1	85	3	25,53535	2,98	0,39	48,5	16,18	40,48	569	78,36	10675	b	c
G1	88	3	29,18406	2,61	0,33	92,94	16,06	40,24	467	81,35	10722	a	d
G1	91	2	18,52427	2,74	0,37	158,74	16,09	40,16	483	71,96	10827	a	d
G1	92	2	17,5569	2,89	0,36	159,82	16,19	40,03	491	70,31	9475	a	d
G1	95	2	18,82577	2,7	0,4	157,28	16,09	39,93	515	76,36	11427	a	d
G1	107	2	13,96018	3,64	0,39	21,29	16,23	40,12	527	90,31	12515	b	d
G1	108	3	19,72666	3,86	0,43	157,76	16,26	40,11	513	80,34	10220	a	d
G1	110	2	15,17872	3,35	0,39	15,28	16,28	40,09	529	72,38	11216	b	d
G1	119	5	32,17662	3,95	0,43	112,75	16,45	40,24	503	57,87	8192	b	c
G1	123	3	22,60346	3,37	0,53	120,82	16,28	40,32	588	39,05	6462	b	d
G1	146	2	13,28645	3,82	0,46	162,65	16	40,01	586	109,54	15180	a	c
G1	149	5	31,86621	3,99	0,55	95,19	16,48	40,33	507	85,04	10410	b	c
G1	153	5	35,29496	3,6	0,48	84,05	16,45	40,31	624	106,08	14456	b	c
G1	154	5	35,41562	3,59	0,38	101,79	16,35	40,15	622	129,82	15640	a	c
G1	155	5	37,45801	3,39	0,5	97,89	16,36	40,31	569	70,93	9375	b	c
G1	157	6	38,16308	3,99	0,38	60,67	16,46	39,52	543	83,74	9973	b	c
G1	160	5	35,17102	3,61	0,4	94,92	16,71	40,23	560	106,8	12887	a	d
G1	162	5	33,66018	3,77	0,35	103,63	16,24	40,48	589	61,37	7390	b	d
G1	167	4	27,27267	3,73	0,36	123,02	16,19	39,99	581	104,63	12524	a	d
G1	168	2	17,25986	2,94	0,31	130,05	16,13	39,94	506	65,57	10193	a	c
G1	169	2	18,83492	2,7	0,33	130,09	15,98	40,01	538	96,96	10754	a	d
G1	170	5	32,68902	3,89	0,41	63,27	15,78	39,9	621	112,68	15244	a	c
G1	173	3	21,21625	3,59	0,34	150,1	16,07	39,99	506	73,93	10669	a	d
G1	174	2	19,45243	2,61	0,33	131,79	16,13	40,03	515	88,65	10892	a	d
G1	175	4	29,12099	3,49	0,42	59,96	15,85	39,85	623	121,15	15692	a	d
G1	177	3	21,09472	3,61	0,38	149,99	16,13	39,97	599	109,8	14826	a	c
G1	178	2	14,06269	3,61	0,41	1,48	16,13	40,07	556	101,24	12714	a	d
G1	179	3	20,25477	3,76	0,43	138,81	16,06	39,85	609	119,23	15354	a	d
G1	181	3	19,31385	3,95	0,41	137,59	16,14	40,02	577	100,44	13633	a	c
G1	182	1	8,47458	3	0,39	5,89	15,96	39,86	572	100,86	12589	a	d
G1	183	3	24,14169	3,16	0,43	44,55	16,12	39,89	586	108,21	13486	a	c
G1	187	2	15,31813	3,32	0,45	21,82	16,17	40,15	557	86,93	12279	a	d
G1	200	2	16,51738	3,08	0,39	27,19	16,19	40,14	571	93,68	12233	a	d
G1	201	1	7,90092	3,21	0,48	163,27	16,11	39,97	540	78,64	9889	a	d
G1	204	2	18,28781	2,78	0,48	149,74	16,09	39,85	588	103,72	12727	a	d
G1	205	2	16,56254	3,07	0,42	2,02	16,19	39,9	581	110,44	13214	a	d
G1	206	3	21,58473	3,53	0,48	35,55	16,08	40,04	563	99,44	11971	b	d
G1	224	4	31,61187	3,21	0,28	76,36	16,37	40,41	493	81,9	8332	b	d
G1	228	3	24,42384	3,12	0,38	75,52	16,36	39,9	511	64,97	8117	a	c
G1	232	4	35,25464	2,88	0,34	91,12	16,35	40,26	503	90,17	11175	b	c
G1	233	3	26,48085	2,88	0,33	116,81	16,06	40,41	493	68,34	9290	b	c
G1	234	2	17,03369	2,98	0,3	0,24	16,47	40,32	444	84,81	8715	a	d
G1	236	4	33,6209	3,02	0,39	91,23	16,64	40,35	458	72,39	7664	a	d
G1	237	4	34,5717	2,94	0,4	119,04	16,37	40,33	457	73,03	8518	a	c
G1	240	4	30,97942	3,28	0,42	69,81	16,33	40,38	559	68,58	7777	b	c
G1	253	3	19,1915	3,97	0,51	145,99	16,24	39,97	556	111,69	12008	a	d
G1	266	3	27,86371	2,73	0,39	115,39	16,13	40,12	557	47,92	5536	b	d
G1	267	1	10,53714	2,41	0,28	0,74	16,16	40,06	541	68,72	6897	a	d
G1	271	1	7,76153	3,27	0,41	14,91	16,28	40,34	497	77,28	6723	a	d
G1	272	4	34,59122	2,94	0,35	127,71	16,17	39,94	460	65,64	7831	b	c
G1	275	2	12,89139	3,94	0,38	29,98	16,09	40	547	71,31	7470	a	d
G1	277	2	16,56688	3,07	0,43	2,89	16,11	40,05	503	60,99	6446	a	d
G1	278	2	18,67947	2,72	0,32	158,37	16,14	40,05	481	56,09	7006	b	d
G1	284	5	34,2767	3,71	0,53	114,49	16,73	40,42	582	87,26	8067	a	d
G1	286	3	33,64695	2,26	0,36	108,6	16,39	40,4	484	53,73	8084	b	d
G1	287	4	32,93897	3,08	0,49	61,76	16,23	40,34	510	76,38	7605	a	d
G1	295	4	31,69537	3,21	0,28	88,6	16,36	40,34	486	84,85	9239	a	d

Dados obtidos dos corpos-de-prova estudados

Grupo	C.P.	Anéis Observados	Distância ref. (mm)	Nº Anéis por polegada	% Lenho Tardio	Inclinação dos anéis (°)	Seção Transversal		Dens (Kg/m³)	Resist. Flexão (MPa)	Módulo de Elasticidade E _u (MPa)	Tração/Ruptura	
							Altura (mm)	Largura (mm)				Simplex (a) Desviada (b)	Desfibramento (c) Ruptura (d)
G1	296	5	37,56931	3,38	0,36	118,39	16,18	40,33	510	85,91	9423	a	c
G1	298	2	16,76308	3,03	0,23	2,64	16,59	40,25	440	83,01	8529	a	d
G1	299	3	28,66211	2,66	0,48	84,82	16,47	40,39	476	73,63	7558	a	d
G1	300	4	33,73265	3,01	0,33	56,69	16,52	40,34	465	76,06	7612	a	d
G1	303	4	34,23897	2,97	0,66	90	16,29	40,32	648	74,94	6576	a	d
G1	307	4	34,36334	2,96	0,22	56,22	16,43	40,41	472	66,04	6335	a	d
G1	308	3	23,32095	3,27	0,26	54,62	16,34	40,54	508	59,08	6228	a	d
G1	313	3	20,37567	3,74	0,43	147,99	16,34	40,1	563	89,01	7755	a	d
G1	315	5	32,36933	3,92	0,42	135,55	16,17	40,04	541	77,99	9291	b	c
G1	316	2	13,4839	3,77	0,34	172,53	16,18	40,14	528	82,47	7943	a	d
G1	318	5	32,67276	3,89	0,53	64,05	16,13	40,09	577	98,72	7243	a	c
G1	319	2	14,93258	3,4	0,5	160,61	16,31	40,08	567	96,21	10220	a	d
G1	330	3	20,89532	3,68	0,44	123,45	16,14	40,07	546	74,75	7594	a	d
G1	335	4	35,31449	2,88	0,47	62,96	16,15	39,96	581	70,52	8378	b	c
G1	339	3	24,22069	3,15	0,62	37,76	16,19	40,15	624	80,5	7285	a	d
G1	345	4	27,99947	3,63	0,39	79,19	16,41	40,3	517	53,6	11444	b	c
G1	346	4	27,97072	3,63	0,36	93,59	16,4	40,28	492	86,46	11303	a	c
G1	351	4	32,60587	3,12	0,39	104,12	16,39	40,4	487	61,56	7536	b	c
G1	353	5	34,07454	3,73	0,51	99,88	16,47	40,24	534	104,66	11521	a	c
G1	357	4	29,51538	3,44	0,42	97,56	16,39	40,31	499	87,62	11411	b	c
G1	362	5	38,75579	3,28	0,43	68,68	16,42	40,19	481	81,02	8291	a	c
G1	363	5	35,75468	3,55	0,42	80,63	16,38	40,39	549	108,19	11823	a	c
G1	364	5	37,69158	3,37	0,47	84,01	16,45	40,47	536	98,54	11530	b	d
G1	367	5	35,96538	3,54	0,6	78,95	16,4	40,32	497	90,6	11119	b	c
G1	368	5	33,69771	3,77	0,57	105,13	16,73	40,42	504	94,46	11423	b	d
G1	369	3	24,10596	3,16	0,27	140,43	16,46	40,36	414	64,71	8426	a	c
G1	371	3	26,83324	2,84	0,25	120,85	16,16	40,33	435	75,54	8732	a	d
G1	373	4	33,80878	3,01	0,41	98,03	16,64	40,24	478	75,97	9128	a	c
G1	374	4	34,67293	2,93	0,58	82,44	16,03	40,24	515	77,62	9928	b	c
G1	375	4	27,6892	3,67	0,5	91,54	16,07	40,3	548	103,76	12805	a	c
G1	376	5	35,83774	3,54	0,47	99,27	16,2	40,35	527	102,96	12224	a	d
G1	379	1	7,79845	3,26	0,33	176,25	15,94	39,86	474	68,79	10150	a	d
G1	380	3	23,25434	3,28	0,47	35,73	16,04	39,94	523	82,03	11845	a	c
G1	382	5	38,32533	3,31	0,44	126,53	16,05	39,93	530	94,75	12411	a	c
G1	383	2	16,49301	3,08	0,47	145,72	16,11	40	499	81,94	11180	b	c
G1	384	1	8,37226	3,03	0,39	168,79	15,99	39,86	493	80,8	11502	a	d
G1	385	4	30,0999	3,38	0,44	127,65	16,09	39,95	508	90,33	11552	b	c
G1	387	3	19,55333	3,9	0,47	25	16,21	40,08	501	84,67	10929	b	c
G1	388	4	35,69638	2,85	0,51	84,35	16,15	40,15	520	41,31	6248	a	d
G1	401	4	30,4788	3,33	0,42	127,49	16,11	40,09	504	88,25	11908	a	c
G1	403	2	16,69384	3,04	0,25	155,4	16,13	39,9	471	61,47	7834	b	d
G1	404	3	26,66194	2,86	0,38	38,34	16,1	39,98	474	74,48	9575	a	d
G1	405	4	30,48964	3,33	0,58	58,61	16,11	40,14	495	85,9	11387	a	d
G1	407	4	32,33559	3,14	0,41	57,13	16	39,97	510	88,99	11886	a	c
G1	408	2	17,83209	2,85	0,36	148,14	16,21	40,04	457	78,13	10148	a	d
G1	409	2	16,49301	3,08	0,26	24,23	16,09	39,96	447	80,2	10389	a	d
G1	410	3	23,42787	3,25	0,41	51,57	16,06	40,03	493	85,56	11127	a	c
G1	414	2	15,99519	3,18	0,42	18,27	16,1	40,09	542	84,27	10630	a	d
G1	415	4	26,57182	3,82	0,5	137,97	16,07	39,98	513	92,24	12139	a	c
G1	418	3	21,81376	3,49	0,45	34,74	16,21	39,92	508	91,57	12338	a	d
G1	419	2	17,25903	2,94	0,44	162,37	16,17	39,98	514	87,7	12168	a	d
G1	420	3	22,02673	3,46	0,45	37,16	16,1	39,97	498	86,14	10906	a	d
G1	426	2	14,2383	3,57	0,45	0	16,08	39,85	533	96,68	12976	a	d
G1	436	2	16,84033	3,02	0,32	0,73	16,36	39,78	414	62,62	7017	a	d
G1	437	2	15,81275	3,21	0,32	120,83	16,01	40,17	472	58,93	6660	b	d
G1	438	2	23,6512	2,15	0,36	121,08	15,97	39,79	443	64,32	8705	b	d
G1	439	2	18,41773	2,76	0,35	82,97	16,12	39,92	442	75,55	8121	a	d
G1	440	5	35,17102	3,61	0,39	83,17	16,27	40,3	490	61,6	8620	b	d
G1	441	3	27,77386	2,74	0,31	119,12	16,4	40,32	486	81,33	10322	a	d
G1	445	1	18,04587	1,41	0,34	107,52	15,99	40	456	72,21	7885	a	d
G1	446	1	11,2887	2,25	0,31	0,69	16,41	39,93	427	60,12	6508	a	d
G1	447	2	17,78611	2,86	0,37	67,89	16	40,14	406	58,17	5886	a	d
G1	449	2	19,64055	2,59	0,28	64,44	16,21	39,81	436	65,87	5041	a	c
G1	450	3	28,32893	2,69	0,33	69,85	16,36	40,08	488	75,14	9023	b	c
G1	451	2	24,46556	2,08	0,42	77,71	16,29	40,09	499	45,72	7073	b	d
G1	452	5	32,20517	3,94	0,49	94,14	16,4	40,17	496	70,35	8831	b	c
G1	454	2	23,39965	2,17	0,27	98,02	15,85	40,21	461	46,48	5662	b	d
G1	455	1	14,807	1,72	0,42	71,13	16,42	40,18	503	41,48	5282	b	d
G1	457	2	20,38695	2,49	0,28	1,4	15,98	40,23	427	63,41	6865	a	d
G1	458	2	21,35862	2,38	0,31	90	16,37	40,24	435	62,28	6562	a	c
G1	459	3	29,26466	2,6	0,34	121,33	15,96	40,24	457	79,05	9787	a	d
G1	460	4	26,79896	3,79	0,42	105,19	16,03	40,26	491	87,41	10774	a	d
G1	461	4	27,45972	3,7	0,49	92,75	16,33	40,2	504	92,09	11193	a	d
G1	462	3	20,21715	3,77	0,33	142,31	16,18	40,02	492	80,84	9776	a	d
G1	464	2	27,89771	1,82	0,46	142,34	16,13	39,94	535	41,57	6276	b	c
G1	466	2	24,8662	2,04	0,39	146,22	16,2	39,89	497	79,66	8667	b	c
G1	467	1	14,25342	1,78	0,44	8,33	16,17	39,86	509	60,26	8220	a	d
G1	468	2	17,97889	2,83	0,47	144,64	16,16	40,01	520	89,21	11514	a	d
G1	469	3	21,27777	3,58	0,54	127,54	16,1	39,93	614	82,12	12267	b	c
G1	472	3	19,66102	3,88	0,55	145,96	16,17	40	586	103,71	13004	a	c
G1	474	2	15,47486	3,28	0,59	184,46	16,24	39,81	557	95,35	12386	a	d
G1	475	2	18,69638	2,72	0,65	144,92	16,2	39,88	611	65,23	10776	b	d
G1	482	3	28,78962	2,65	0,39	69,52	16,03	39,94	488	76,5	9832	b	d

Dados obtidos dos corpos-de-prova estudados

Grupo	C.P.	Anéis Observados	Distância ref. (mm)	Nº Anéis por polegada	% Lenho Tardio	Inclinação dos anéis (°)	Seção Transversal		Dens (Kg/m³)	Resistência Flexão σ_b (MPa)	Módulo de Elasticidade E_w (MPa)	Tração/Ruptura	
							Altura (mm)	Largura (mm)				Simplex (a) Desviada (b)	Desfibramento (c) Ruptura (d)
G1	483	2	24,25802	2,09	0,34	145,81	16,06	40,15	443	69,43	8641	b	d
G1	484	2	21,97123	2,31	0,38	141,68	16,03	39,92	437	74,84	8424	a	d
G1	489	4	32,8866	3,09	0,53	72,84	16,09	39,81	494	84,29	10921	b	c
G1	490	2	21,14233	2,4	0,39	140,05	16,26	40,25	479	79,36	9725	b	c
G1	492	1	22,07298	1,15	0,35	26,97	16,15	40	484	40,5	5815	b	d
G1	495	1	10,17514	2,5	0,59	176,72	16,1	39,95	504	93,04	12021	b	d
G1	496	2	22,10679	2,3	0,38	147,86	16,17	40,28	492	80,17	9966	a	d
G1	502	2	15,82728	3,21	0,38	168,36	16,22	40,04	511	56,15	8465	b	d
G1	511	5	34,26413	3,71	0,46	84,37	16,37	40,33	554	105,68	13243	b	c
G1	512	2	28,65359	1,77	0,33	64,79	16,33	40,32	473	81,77	10500	b	c
G1	513	3	29,86131	2,55	0,3	88,41	16,43	40,36	447	83,83	9782	a	c
G1	514	2	16,14713	3,15	0,27	177,63	16,58	40,4	437	58,44	8919	a	d
G1	516	2	27,13982	1,87	0,46	66,74	16,73	40,32	470	77,1	6544	a	c
G1	517	2	28,47659	1,78	0,37	88,73	16,32	40,23	447	57,61	8641	b	c
G1	520	5	34,37796	3,69	0,49	100,75	16,51	38,36	536	87,57	11039	b	c
G1	521	5	33,79306	3,76	0,82	76,64	16,75	40,22	591	99,64	11831	a	c
G1	523	4	38,39497	2,65	0,36	103,8	16,4	40,38	480	71,2	8904	a	c
G1	524	4	37,30662	2,72	0,34	73,31	16,4	40,37	472	78,85	8942	a	d
G1	525	2	16,30646	3,12	0,23	5,42	16,62	40,36	430	80,61	8236	a	d
G1	526	3	21,53009	3,54	0,17	0,7	16,38	40,33	513	37,53	5470	a	d
G1	529	4	33,22207	3,06	0,44	79,43	16,44	40,33	532	78,42	10860	b	c
G1	530	4	30,78033	3,3	0,51	112,8	15,9	40,46	527	79,41	10635	a	c
G1	532	2	17,74407	2,86	0,17	55,53	16,4	40,38	403	60,36	7395	a	d
G1	534	3	26,27939	2,9	0,28	121,56	15,97	40,41	432	57,73	8854	a	c
G1	535	4	31,83735	3,19	0,44	66,04	16,38	40,47	529	89,15	11250	b	c
G1	536	4	29,93049	3,39	0,5	77,04	16,46	40,35	531	93,42	11786	a	c
G1	541	3	25,87176	2,95	0,36	49,8	16,25	40,06	511	75,41	8825	b	d
G1	543	4	32,67276	3,11	0,46	63,81	16,18	40,03	538	85,13	9874	a	d
G1	546	5	33,87457	3,75	0,58	101,45	16,21	40,04	566	85,75	10670	a	d
G1	547	2	19,66102	2,58	0,56	146,74	16,17	39,99	559	73,29	10988	a	d
G1	549	4	30,16949	3,37	0,43	125,31	16,15	40,09	595	97,84	11149	a	c
G1	551	1	7,33333	3,46	0,49	174,09	16,21	40,09	557	55,15	6226	b	d
G1	557	3	29,71472	2,56	0,48	134,58	16,13	40,11	552	96,73	11017	a	d
G1	558	2	17,02357	2,98	0,45	170,88	16,06	40,09	527	68,59	8597	a	d
G1	562	3	26,1105	2,92	0,51	128,84	16,07	40,01	597	96,28	12455	b	c
G1	563	3	27,1631	2,81	0,45	136,59	16,23	39,99	570	83,89	10072	b	d
G1	575	4	36,28544	2,8	0,47	99,96	16,44	40,3	594	114,17	13378	b	c
G1	576	3	24,41855	3,12	0,55	78,22	16,36	40,35	602	108,89	13956	b	c
G1	578	5	34,22386	3,71	0,38	73,64	16,37	40,27	519	91,88	11125	a	d
G1	579	5	36,66662	3,46	0,44	51,73	16,08	40,43	536	93,09	11602	b	d
G1	580	4	31,98858	3,18	0,53	96,77	16,41	40,4	613	123,67	14181	a	d
G1	581	4	32,71845	3,11	0,55	99,62	16,3	40,3	595	114,9	14573	a	d
G1	584	5	36,78083	3,45	0,53	86,86	16,44	40,43	601	108,45	13662	b	c
G1	585	4	30,78033	3,3	0,58	66,6	16,28	40,4	602	110,67	13943	b	c
G1	587	3	26,46023	2,88	0,39	102,28	16,33	40,26	601	88,96	9444	b	d
G1	588	4	34,58292	2,94	0,6	88,36	16,4	40,26	639	124,94	15394	b	c
G1	592	5	34,244	3,71	0,54	97,7	16,03	40,27	609	112,77	13921	b	c
G1	593	5	36,09493	3,52	0,54	72,07	16,02	40,43	594	115,62	14116	b	c
G1	596	5	32,31737	3,93	0,55	60,93	15,99	40,33	569	104,25	12732	b	c
G1	597	5	34,96952	3,63	0,64	71,32	16,44	40,44	547	124,61	15029	a	c
G1	599	3	26,70231	2,85	0,58	41,3	16	40,09	601	113,97	14441	a	d
G1	600	1	11,06768	2,29	0,59	1,14	15,99	39,96	593	100,39	10941	a	d
G1	601	4	32,9093	3,09	0,86	128,47	16,11	39,9	642	135,36	16585	a	c
G1	604	3	27,74903	2,75	0,63	137,47	16,09	39,87	629	112,65	14385	a	d
G1	606	4	30,32904	3,35	0,6	49,63	16,1	39,99	630	99,4	13395	a	c
G1	609	1	9,64763	2,63	0,69	9,22	16,18	39,89	637	120,28	14329	a	d
G1	610	3	27,13982	2,81	0,63	139,57	16,08	39,94	630	110,84	13685	a	d
G1	613	1	7,48838	3,39	0,58	178,32	15,88	39,96	624	107,5	14623	a	d
G1	614	2	17,76349	2,86	0,57	145,24	16,16	40,07	596	100,4	12547	a	d
G1	619	2	16,36274	3,1	0,64	157,52	16,16	40,15	634	112,75	15261	a	d
G1	629	3	24,47495	3,11	0,5	40,41	16,17	40,05	623	109,5	14604	a	c
G1	630	2	20,18586	2,52	0,46	171,13	15,82	39,98	590	99,29	13435	a	d
G1	631	1	8,49489	2,99	0,42	1,46	16,04	40,04	543	93,12	10583	a	d
G1	635	4	34,81143	2,92	0,38	39,67	16,1	39,93	610	111,13	14743	a	d
G1	636	3	26,52962	2,87	0,4	46,33	16,02	39,96	617	111,95	15016	a	d
G1	639	2	17,84095	2,85	0,65	163,78	15,94	39,85	631	109,54	14301	a	d
G1	641	3	20,75285	3,67	0,62	145,21	16,02	40	634	115,84	15362	a	c
G1	642	2	15,34811	3,31	0,61	22,35	16,13	39,87	607	110,88	14604	a	c
G1	648	2	12,88582	3,94	0,55	1,32	16,04	39,94	637	140,46	17783	a	d
G1	656	3	28,81356	2,64	0,43	84,6	16,4	40,33	571	91,65	11633	a	c
G1	657	4	35,39087	2,87	0,43	101,47	16,48	40,37	583	108,02	12876	b	c
G1	658	3	23,60744	3,23	0,38	4,73	16,02	40,11	481	89,67	9925	a	d
G1	660	4	26,22886	3,87	0,46	70,72	16,4	40,21	566	111,01	12378	a	c
G1	661	4	34,94651	2,91	0,44	115,13	16,38	40,46	569	100,63	10917	a	c
G1	666	3	29,89977	2,55	0,47	96,61	16,48	40,39	568	109,98	12197	a	c
G1	667	3	30,06266	2,53	0,49	73,2	16,36	40,35	556	106,11	12282	a	c
G1	670	4	28,88525	3,52	0,48	82,74	16,47	40,19	568	80,64	7595	b	d
G1	676	3	28,98057	2,63	0,34	68,33	16,4	40,17	523	94,4	9836	a	c
G1	680	3	25,48467	2,99	0,59	47,62	16,4	40,22	607	96,34	12544	b	c
G1	684	3	21,76366	3,5	0,56	150,11	16,22	40,14	609	95,13	11785	b	c
G1	685	2	13,4102	3,79	0,71	165,09	16,33	40,27	605	106,46	12109	a	d
G1	688	2	12,92144	3,93	0,65	2,86	16,07	40,12	677	101,13	13621	a	d
G1	700	3	30,12375	2,53	0,41	120,38	16,1	40,01	576	90,35	10720	a	c

Dados obtidos dos corpos-de-prova estudados

Grupo	C.P.	Anéis Observados	Distância ref. (mm)	Nº Anéis por polegada	% Lenho Tardio	Inclinação dos anéis (°)	Seção Transversal		Dens (Kg/m³)	Resist. Flexão f_b (MPa)	Módulo de Elasticidade E_u (MPa)	Tração/Ruptura	
							Altura (mm)	Largura (mm)				Simples (a) Desviada (b)	Desfibramento (c) Ruptura (d)
G1	701	1	7.12671	3,56	0,51	175,31	16,02	39,91	571	88,42	10775	a	d
G1	706	3	32,9093	2,32	0,67	115,57	16,16	39,92	603	87,88	7929	a	d
G1	712	3	26,68294	2,86	0,51	132,79	15,97	40,18	593	101,43	13061	b	c
G1	714	3	29,43497	2,59	0,52	40,05	16,12	40,08	589	102,41	11801	a	d
G1	717	2	13,72777	3,7	0,59	28,88	16,1	40,01	634	120,63	14000	b	c
G1	720	2	13,49561	3,76	0,66	170,36	15,87	40,03	650	79,47	11502	b	d
G1	721	3	22,10679	3,45	0,64	136,14	16,17	40,1	633	122,46	13774	a	d
G1	723	3	19,67854	3,87	0,56	23,6	16,1	40,21	660	124,88	15449	b	c
G1	735	3	24,94003	3,06	0,5	135,32	16,45	40,48	520	99,66	10502	a	d
G1	736	3	23,67306	3,22	0,61	115,21	16,24	39,76	658	115,73	14256	b	c
G1	737	5	36,27752	3,5	0,62	90,1	16,56	39,79	648	121,11	14253	b	c
G1	740	5	32,20517	3,94	0,51	85,91	16,14	40,43	608	104,31	11314	b	c
G1	743	5	34,1213	3,72	0,75	55,3	15,92	39,25	645	106,17	11066	a	c
G1	745	2	18,47069	2,75	0,66	138,29	15,98	39,91	640	71,23	11346	b	c
G1	746	2	14,71749	3,45	0,54	164,29	16,15	40	610	101,97	12414	a	c
G1	749	3	21,87889	3,48	0,56	29,19	16,15	39,75	599	93,7	11632	a	c
G1	750	3	21,70551	3,51	0,46	32,69	16,12	40,13	604	98,34	11484	a	c
G1	755	1	10,63888	2,39	0,52	178,99	16,04	39,97	635	100,18	13304	a	d
G1	762	4	29,13874	3,49	0,52	131,89	16,13	39,91	634	113,32	13134	a	c
G1	763	3	25,11679	3,03	0,72	37,92	16,07	40,02	598	87,14	9304	a	d
G1	775	1	6,43175	3,95	0,61	8,55	16,17	40,04	518	88,04	10358	b	d
G1	777	3	20,54416	3,71	0,46	138	16,13	40,02	516	89,1	11076	a	c
G1	780	2	14,85736	3,42	0,64	23,82	16,23	40,07	563	41,91	7781	b	d
G1	788	2	14,57627	3,49	0,54	170,85	16,08	40,06	517	86,85	9554	a	d
G1	791	4	28,35528	3,58	0,56	129,29	16,03	40,02	543	89,9	11027	b	c
G1	799	2	25,85621	1,96	0,59	139,84	16,2	40,18	550	80,73	9897	b	d
G1	801	3	22,1898	3,43	0,65	159,17	16,12	39,97	557	82,97	10308	a	d
G1	802	2	17,51267	2,9	0,41	16,05	16,25	40,07	551	89,35	11314	a	c
G1	804	1	11,06768	2,29	0,45	10,71	15,92	40,13	622	95,42	9483	a	d
G1	805	2	22,44723	2,26	0,57	133,34	16,07	40,04	557	90,38	9156	b	c
G1	821	3	20,40948	3,73	0,76	13,62	16,03	39,99	682	121,76	11877	a	c
G1	824	3	20,38695	3,74	0,6	13,94	16,15	40,06	580	103,21	10144	a	d
G1	826	3	20,63625	3,69	0,58	22,96	16,15	40,17	591	96,95	9082	a	c
G1	831	2	15,01507	3,38	0,36	9,46	15,99	40,09	482	81,58	9726	a	d
G1	835	2	15,77273	3,22	0,27	4,29	16,08	39,96	485	83,62	10933	b	d
G1	852	2	18,58233	2,73	0,46	6,64	16,03	40	502	126,07	14446	a	d
G1	854	2	13,09809	3,88	0,33	176,54	16,06	39,95	500	100,2	12365	b	d
G1	879	4	29,57129	3,44	0,44	151,97	16,08	40,07	521	52,38	8770	b	c
G1	880	4	28,08654	3,62	0,48	141,53	16,04	40,06	574	26,56	5443	b	c
G1	883	1	10,97907	2,31	0,47	162	15,94	39,88	482	38,5	5040	b	d
G1	884	1	9,51571	2,67	0,65	175,94	16,11	40,01	563	93,96	10945	b	d
G2	1	5	30,43553	4,17	0,39	90,54	16,49	40,32	522	89,47	12948	b	c
G2	2	5	30,68499	4,14	0,42	71,16	16,04	40,47	529	96,28	12455	b	c
G2	8	9	39,15043	5,84	0,41	82,11	16,46	40,37	561	94,08	13519	b	c
G2	22	6	36,90335	4,13	0,33	100,62	16,47	40,3	533	93,36	13046	a	c
G2	26	5	30,58019	4,15	0,39	126,2	16,11	40,1	459	93,03	13233	b	d
G2	34	5	29,94057	4,24	0,32	144,92	16,04	39,98	547	95,56	13579	a	c
G2	37	4	24,23788	4,19	0,42	152,48	16,18	40,04	549	88,39	12512	a	c
G2	38	2	11,98007	4,24	0,42	171,29	16,11	40,04	529	81,5	12349	a	d
G2	44	4	23,64756	4,3	0,31	32,83	16,27	40,05	504	82,02	11061	a	d
G2	48	4	20,33404	5	0,39	34,05	16,35	40,27	516	89,82	12744	a	c
G2	52	2	10,70484	4,75	0,44	12,53	15,4	40,02	593	105,04	14586	b	d
G2	56	3	16,86079	4,52	0,46	11,58	16,24	40,08	527	67,62	12028	b	d
G2	93	4	20,61535	4,93	0,36	53,96	16,26	40,1	560	72,68	11108	b	c
G2	97	4	17,30225	5,87	0,41	19,55	16,1	40,12	529	94,32	11963	a	d
G2	98	3	15,11804	5,04	0,45	12,21	16,12	40,26	564	89,03	12505	a	d
G2	101	3	13,47644	5,65	0,5	5,71	16,05	40,12	554	102,73	11999	a	d
G2	114	3	14,97676	5,09	0,48	6,12	16,19	40,19	515	93,25	12751	b	d
G2	116	4	17,97889	5,65	0,47	25,65	16,23	40,19	554	101,01	12365	a	c
G2	117	3	13,31992	5,72	0,4	166,8	16,16	40,1	524	92,47	11940	b	d
G2	121	3	16,6499	4,58	0,44	38,38	16,37	40,39	516	76,79	10074	b	c
G2	126	3	16,02659	4,75	0,43	130,51	16,33	40,39	480	92,67	11125	a	d
G2	127	6	33,99182	4,48	0,49	57,09	16,34	40,43	498	84,93	10338	a	d
G2	128	7	39,0011	4,56	0,49	108,45	16,41	40,28	496	94,54	11542	a	d
G2	133	4	22,45491	4,52	0,39	121,41	16,05	40,44	471	81,65	8866	a	d
G2	134	2	11,08324	4,58	0,35	57,45	16,07	40,41	498	76,37	8330	a	d
G2	138	4	17,02357	5,97	0,47	32,55	16,15	40,08	556	96,76	11779	a	d
G2	147	2	12,59836	4,03	0,5	170,81	16,1	39,95	579	110,67	14793	a	c
G2	161	7	39,25842	4,53	0,47	66,09	16,41	40,38	581	101,42	12043	a	d
G2	164	5	31,7497	4	0,36	75,83	16,16	40,26	533	74,48	10187	b	c
G2	196	2	12,59836	4,03	0,43	165,39	16,3	40,09	595	120,49	15987	a	d
G2	190	3	15,06188	5,06	0,49	164,02	16,23	40,04	597	110,77	13770	a	d
G2	213	2	12,05417	4,21	0,45	1,72	16,11	40	537	86,64	10532	a	d
G2	238	9	30,7355	7,44	0,33	83,38	16,61	40,3	518	92,36	10623	a	c
G2	249	4	21,22167	4,79	0,43	34,58	16,04	40	556	114,47	12057	a	c
G2	254	2	11,11042	4,57	0,39	175,77	16,07	40,01	502	77,34	8934	a	d
G2	257	3	14,27457	5,34	0,48	155,76	16,19	40,1	595	110,62	12954	a	d
G2	280	3	18,61168	4,09	0,45	17,6	16,12	40,06	608	100,55	11830	b	d
G2	283	4	22,33619	4,55	0,34	180,58	16,07	40,01	590	114,08	13023	a	c
G2	285	3	13,37695	5,7	0,48	15,25	16,14	40,11	594	95,54	12888	b	c
G2	279	8	39,46824	5,15	0,48	59,52	16,12	40	654	75,13	7451	b	d
G2	293	6	35,7181	4,27	0,48	76,7	16,65	40,28	567	93,83	9177	a	d
G2	304	5	26,15667	4,86	0,38	69,54	16,27	40,37	515	74,97	8014	a	c

Dados obtidos dos corpos-de-prova estudados

Grupo	C.P.	Anéis Observados	Distância ref. (mm)	Nº Anéis por polegada	% Lenho Tardio	Inclinação dos anéis (°)	Seção Transversal		Dens (Kg/m³)	Resist. Flexão f_b (MPa)	Módulo de Elasticidade E_w (MPa)	Tração/Ruptura	
							Altura (mm)	Largura (mm)				Simples (a) Desviada (b)	Desfibramento (c) Ruptura (d)
G2	322	2	11,45793	4,43	0,44	16,81	16,21	40,08	579	88,38	9441	a	d
G2	332	5	27,1631	4,68	0,43	39,09	16,15	40,16	504	71,63	8177	a	c
G2	337	5	31,00213	4,1	0,49	55,2	16,11	40,09	556	82,16	7694	a	d
G2	338	3	18,23084	4,18	0,49	18,19	16,19	40,08	552	82,83	7069	a	d
G2	412	4	21,54943	4,71	0,43	39,72	16,13	40,06	534	98,96	13046	a	c
G2	417	5	25,24514	5,03	0,5	44,12	16,14	40,07	541	103,12	13431	a	c
G2	423	1	5,59322	4,54	0,4	6,35	15,94	39,9	548	77,93	10379	a	d
G2	432	3	13,733	5,55	0,23	12,9	16,4	40,3	548	28,26	4797	b	d
G2	442	7	38,98314	4,81	0,48	78,86	16,4	40,29	543	80,75	10891	b	c
G2	443	5	29,49153	4,31	0,41	91,74	16,48	40,3	523	54,29	9003	b	c
G2	453	6	25,44406	5,99	0,5	89,19	16,35	39,94	505	46,33	8029	b	d
G2	465	7	30,16949	5,89	0,46	118,57	16,21	40,02	591	113,95	14042	a	d
G2	473	3	16,56861	4,6	0,47	161,23	16,1	39,97	535	86,4	9770	a	d
G2	500	4	25,01134	4,06	0,49	35,04	16,25	39,99	582	70,19	11084	b	d
G2	566	3	14,77982	5,16	0,48	189	16,03	40,03	588	73,21	10713	b	d
G2	572	3	14,62349	5,21	0,4	6,69	16,19	40,19	600	33,07	5383	b	d
G2	586	2	11,66417	4,36	0,37	2,09	16,37	40,41	503	95,79	10505	a	d
G2	595	4	23,81582	4,27	0,47	90,4	16,05	40,28	574	99,7	11961	a	d
G2	640	7	30,78033	5,78	0,49	46,45	16,04	39,99	611	110,84	14916	a	c
G2	733	7	38,98895	4,56	0,47	94,52	16,45	40,19	568	92,95	9697	b	c
G2	781	4	21,87889	4,64	0,5	27,51	16,14	39,91	558	99,12	13089	b	c
G2	827	5	24,94003	5,09	0,49	141,43	16,11	40,09	560	80,38	10547	b	d
G2	830	6	28,87862	5,1	0,32	50,03	16,05	40,05	530	88,73	10674	a	d
G2	832	4	21,34517	4,76	0,32	42,97	16,2	40,15	490	88,93	10933	a	d
G2	834	5	28,05584	4,53	0,41	44,73	16,03	40,04	499	88,43	11387	a	d
G2	838	4	20,96494	4,85	0,38	165,58	16,1	40,1	524	91,02	13052	a	c
G2	841	3	16,00057	4,76	0,39	16,75	16,05	40,13	514	93,49	12293	a	d
G2	851	5	25,09391	5,06	0,36	46,86	16,12	40,2	539	116,78	12509	a	c
G2	864	3	14,09941	5,4	0,47	20,14	16,16	40	545	104,24	12693	a	c
G2	873	3	16,74453	4,55	0,47	155,44	16,05	39,84	597	115,12	14291	b	c
G2	874	3	16,0758	4,74	0,41	148,96	16,09	39,87	590	45,63	7185	a	d
G2	876	2	11,31411	4,49	0,47	172,63	16,09	39,96	505	114,08	12913	b	d
G3	53	3	14,97005	5,09	0,55	27,79	16,16	40,14	543	84,47	11899	a	d
G3	109	6	22,92338	5,54	0,59	58,61	16,12	39,94	573	106,66	14416	b	d
G3	124	6	33,29333	4,58	0,53	81,63	16,43	40,19	539	95,16	12236	a	c
G3	129	9	39,12465	5,84	0,59	101,53	16,29	40,35	554	71,67	10909	b	c
G3	130	6	30,44532	5,01	0,5	72,58	16,35	40,23	574	71,52	9533	b	c
G3	131	6	30,25554	5,04	0,58	111,8	16,03	40,28	557	113,08	12888	a	d
G3	132	5	25,27016	5,03	0,59	73,82	16,06	40,46	520	87,59	11167	a	c
G3	135	3	18,51263	4,12	0,52	19,22	16,16	40,02	562	89,99	11790	a	d
G3	136	3	16,13734	4,72	0,5	153,14	16,18	40,17	578	74,92	11972	b	c
G3	142	4	18,09833	5,61	0,64	159,32	16,1	39,94	623	113,92	13850	a	c
G3	143	3	18,95428	4,02	0,52	150,42	16,18	40,09	592	107	13634	a	d
G3	148	8	37,56331	5,41	0,53	80,59	16,43	40,21	608	106,48	12907	b	d
G3	165	7	32,98516	5,39	0,53	76,46	16,33	40,21	637	78,09	13138	b	c
G3	184	6	25,46494	5,98	0,69	127,09	16,1	40,05	684	140,37	17791	a	d
G3	191	4	19,9057	5,1	0,52	24,04	16,19	40,15	580	108,3	13829	a	d
G3	202	3	18,33723	4,16	0,55	44,07	16,1	40,02	544	95,36	10769	b	c
G3	214	4	17,81274	5,7	0,53	157,85	16,23	40,21	654	102,03	11784	a	d
G3	218	4	19,91796	5,1	0,66	32,01	16,2	40,05	703	134,67	18120	a	c
G3	256	3	15,52398	4,91	0,54	12,47	15,92	40,15	605	118,37	13417	a	d
G3	285	6	32,83852	4,64	0,51	77,47	16,05	40,27	554	63,6	9623	b	d
G3	291	5	26,29086	4,83	0,54	88,23	16,62	38,88	604	37,88	7243	b	d
G3	312	2	12,50223	4,06	0,56	166,56	16,19	40,21	545	96,83	8054	a	d
G3	320	3	17,122	4,45	0,52	165,44	16,22	40,1	612	98,46	9301	a	c
G3	324	4	18,79446	5,41	0,65	39,62	16,11	39,99	586	94,93	9698	a	c
G3	327	4	24,35258	4,17	0,63	23	16,13	40,06	582	88,23	8303	a	d
G3	331	6	37,81029	4,03	0,53	111,79	16,05	40,08	555	80,08	7868	a	d
G3	341	3	17,05139	4,47	0,52	154,88	16,18	40,26	637	79,65	7391	b	d
G3	390	8	35,63033	5,7	0,5	125,64	16,21	40,06	608	121,19	11122	a	c
G3	393	4	18,99401	5,98	0,53	146,53	16,04	39,84	609	115,75	15610	a	c
G3	427	4	19,15329	5,3	0,54	148,74	16,02	39,77	542	101,7	12508	a	d
G3	429	4	17,68131	5,75	0,54	147,04	16,22	39,86	582	110,61	14133	aa	c
G3	498	2	10,44266	4,86	0,56	174,04	16,15	39,98	501	81,64	11751	b	d
G3	499	3	14,59203	5,22	0,52	166,28	16,25	40,13	539	102,8	12488	a	d
G3	507	4	18,44267	5,51	0,53	165,26	16,31	40,21	625	112,8	15738	b	c
G3	508	3	16,94915	4,5	0,59	149,94	16,16	40,03	599	47,72	8657	b	d
G3	510	7	38,16233	4,66	0,51	74,41	16,73	40,33	588	121,09	13660	a	c
G3	522	6	37,07489	4,11	0,55	90,17	16,38	40,36	593	111,81	13191	a	c
G3	537	7	31,51266	5,64	0,6	80	16,47	37,92	619	126,92	15130	a	c
G3	538	8	34,244	5,93	0,56	95,33	16,88	38,39	611	123,54	14852	b	c
G3	555	2	11,5702	4,39	0,59	28,15	15,99	40,05	593	90,14	11022	a	d
G3	567	4	18,22329	5,58	0,55	159,7	16,2	40,1	548	92,35	11575	a	d
G3	568	4	19,90786	5,1	0,53	136,75	16,16	39,99	584	102,73	12145	a	d
G3	570	2	11,98486	4,24	0,51	7,82	16,22	40,25	564	99,8	12860	a	c
G3	571	2	9,85386	5,16	0,52	2,12	16,25	40,03	628	97,15	13322	a	d
G3	573	8	36,27277	5,6	0,59	94,4	16,51	40,32	642	131,32	16200	b	c
G3	574	8	35,97216	5,65	0,57	100,03	16,3	40,38	634	129,03	16411	a	c
G3	590	8	35,29496	5,76	0,55	85,91	16,55	40,45	648	133,79	16583	a	c
G3	598	5	30,52542	4,16	0,6	59,94	16,02	39,96	637	122,66	14649	a	d
G3	603	6	31,94724	4,77	0,61	115,99	15,99	39,89	643	122,34	15190	a	d
G3	606	3	17,57816	4,33	0,54	155,17	16	39,91	599	106,64	13371	a	c
G3	616	3	15,81275	4,82	0,63	166,25	16,18	40,11	652	125,79	15585	a	c

Dados obtidos dos corpos-de-prova estudados

Grupo	C.P.	Anéis Observados	Distância ref. (mm)	Nº Anéis por polegada	% Lenho Tardio	Inclinação dos anéis (°)	Seção Transversal		Dens (Kg/m³)	Resist. Flexão f_b (MPa)	Módulo de Elasticidade E_m (MPa)	Tração/Ruptura	
							Altura (mm)	Largura (mm)				Simplex (a) Desviada (b)	Desfibramento (c) Ruptura (d)
G3	617	3	13,34147	5,71	0,65	166,93	16,1	40,13	658	129,86	16200	b	c
G3	633	8	36,878	5,51	0,58	64,8	15,97	39,9	638	121,24	15438	a	c
G3	634	8	35,16612	5,78	0,58	119,69	16,02	39,96	625	112,97	14512	a	c
G3	638	4	24,54966	4,14	0,65	35,89	19,18	40,03	615	114,41	15273	a	c
G3	645	2	11,88376	4,27	0,61	1,83	16,06	40,1	622	135,45	15136	a	d
G3	652	3	12,90809	5,9	0,58	10,01	16,13	39,99	681	117,18	15512	b	c
G3	662	6	31,73613	4,8	0,55	104,04	16,33	40,33	636	134,2	14882	a	c
G3	683	6	31,45061	4,85	0,57	100,46	16,34	40,26	643	130,92	15168	a	c
G3	684	8	37,28968	5,45	0,56	90	16,24	40,15	637	124,48	15313	a	c
G3	665	7	37,34356	4,76	0,59	79,71	16,34	40,24	645	135,12	15641	b	c
G3	672	6	33,89322	4,5	0,56	70,63	16,4	40,5	644	109,49	12937	b	c
G3	686	4	24,63406	4,12	0,5	42,58	16,05	40,08	639	118,22	14290	a	c
G3	687	3	18,45824	4,13	0,55	45,74	16,14	40,14	626	111,81	13179	a	c
G3	689	3	15,5969	4,89	0,56	145,34	16,08	40,02	651	99,44	13809	b	c
G3	690	2	10,71959	4,74	0,56	16,23	16,26	40,16	624	96,45	12240	b	c
G3	691	2	12,32519	4,12	0,71	160,19	16,17	40,1	641	118,93	14004	b	c
G3	693	3	17,49954	4,35	0,62	19,84	16,19	40,1	665	124,59	15524	a	c
G3	694	2	12,02315	4,23	0,56	7,77	16,01	40,01	669	123,7	15605	a	c
G3	703	6	35,52051	4,29	0,56	78,69	15,99	39,9	576	96,83	10185	a	d
G3	715	6	32,80438	4,65	0,53	122,65	16,02	40,23	614	118,76	13048	a	d
G3	725	3	13,16372	5,79	0,69	168,8	15,88	40,06	664	71,03	12168	b	d
G3	726	5	28,42813	4,47	0,61	72,32	16,48	40,31	624	89,98	8843	a	c
G3	732	7	37,73538	4,71	0,52	111,8	16,37	40,38	567	100,24	9475	a	c
G3	739	8	37,69424	5,39	0,66	79,38	16,2	40,34	621	115,16	12694	b	c
G3	748	5	31,25269	4,06	0,68	53,1	15,74	39,89	643	108,51	13177	a	d
G3	752	3	15,32938	4,97	0,62	163,65	16	39,84	701	129,71	15154	a	c
G3	759	3	12,76036	5,97	0,51	7,88	16,04	40,07	625	116,57	14542	a	c
G3	767	5	25,48016	4,98	0,57	44,08	16,07	40	595	100,49	10889	a	d
G3	769	5	27,38219	4,64	0,59	45,4	16,05	40,05	657	114,12	12506	a	c
G3	770	4	19,41695	5,23	0,76	18,2	16,1	40,2	679	99,83	12235	b	c
G3	771	5	25,49594	4,98	0,65	21,99	16,01	40,18	638	105,05	12666	b	c
G3	779	5	29,94009	4,24	0,57	129,5	16,17	40,15	543	89,99	11063	b	c
G3	785	5	21,84535	5,81	0,63	21,15	16,01	40,13	635	53,3	10546	b	c
G3	786	3	15,60795	4,88	0,56	161,57	15,88	40,09	609	78,73	12466	b	c
G3	810	8	36,34082	5,59	0,69	133,39	16,14	40,12	597	74,66	9430	b	c
G3	814	3	13,55932	5,62	0,57	2,99	16,14	40,04	609	97,98	9871	a	c
G3	816	7	30,35744	5,86	0,69	47,71	16,22	40,3	635	123,14	13820	a	c
G3	820	3	15,58216	4,89	0,6	19,85	16,08	40,04	641	96,86	9124	b	d
G3	825	5	23,68327	5,32	0,53	42,48	16,01	40,09	584	99,52	11159	a	d
G3	839	4	24,40913	4,16	0,54	165,86	16,12	40,27	534	96,47	12550	b	d
G3	842	3	17,10101	4,46	0,5	15,51	16,27	40,17	553	91,33	12548	a	c
G3	845	4	17,39416	5,84	0,66	170,73	16,13	40,22	646	104,92	14643	b	c
G3	850	4	22,65868	4,48	0,51	139,05	16,08	40,18	543	113,19	12444	b	c
G3	853	6	25,87176	5,89	0,55	133,99	16,12	40,2	566	121,44	12092	a	c
G3	855	4	24,5242	4,14	0,62	137,14	16,09	40,27	536	88,01	10678	a	d
G3	857	2	8,91725	5,7	0,62	175,91	15,55	39,97	663	110,21	13983	a	d
G3	858	4	18,37401	5,53	0,53	25,76	16,23	40,03	635	108,42	12806	a	c
G3	859	3	13,79673	5,52	0,56	2,56	15,49	40,05	624	69,52	10807	a	d
G3	865	3	14,59203	5,22	0,51	18,43	16,14	40,11	560	101,53	12482	b	c
G3	875	3	15,17872	5,02	0,54	158,45	16,02	39,79	559	70,85	10250	b	d
G4	9	9	37,14398	6,15	0,44	110,2	16,42	40,43	573	106,54	11962	b	c
G4	33	12	36,28584	8,4	0,49	120	16,35	40,09	624	110,31	14775	b	c
G4	38	9	33,9635	6,73	0,35	40,77	16,2	40,16	536	86,79	12196	b	c
G4	39	5	19,43913	6,53	0,33	143,9	16,14	40,98	543	87,32	12235	a	c
G4	41	6	14,07186	10,83	0,39	171,63	16,16	40,04	590	85,28	12630	b	d
G4	51	12	36,14265	8,43	0,48	58,54	16,26	40,13	626	115,43	16345	a	c
G4	62	4	12,71186	7,99	0,41	2,43	16,38	40,03	602	102,29	14696	a	d
G4	64	10	36,91648	6,88	0,46	106,17	16,64	40,43	587	110,1	13868	b	c
G4	72	11	37,63323	7,42	0,41	76,98	16,81	40,32	547	106,58	13692	a	c
G4	73	10	34,59662	7,34	0,47	94,85	16,46	40,22	551	107,98	13824	a	c
G4	75	10	35,60775	7,13	0,49	91,81	16,2	40,5	588	113	13498	a	c
G4	81	10	36,50959	6,96	0,48	73,14	16,55	40,31	570	110,61	14575	b	c
G4	84	9	35,61299	6,42	0,44	89,55	16,67	40,33	561	77,62	10463	b	c
G4	96	6	23,29507	6,54	0,45	50,41	16,22	40,13	585	101,75	13616	a	c
G4	105	4	14,26652	7,12	0,46	24,86	16,29	40,13	598	111,74	14288	a	c
G4	113	4	15,05711	6,75	0,47	156,4	16,28	40,23	546	84,09	11322	b	c
G4	141	3	12,29836	6,2	0,48	169,82	16,21	40,2	571	88,84	11483	b	d
G4	199	7	26,09124	6,81	0,49	130,24	16,16	40,15	619	112,69	14878	a	d
G4	209	3	12,29836	6,2	0,44	178,89	16,32	40,09	566	110,59	11326	a	d
G4	216	4	11,28997	9	0,47	12,69	16,17	39,91	655	120,97	15982	a	c
G4	219	5	12,71186	9,99	0,46	163,93	16,27	40,02	650	115,54	12441	a	c
G4	220	5	13,49668	9,41	0,49	5,15	15,89	40,12	702	131,63	17783	a	d
G4	229	10	35,76633	7,1	0,4	82,82	16,39	40,17	586	109,49	12821	a	c
G4	239	9	33,24541	6,88	0,39	74,23	16,44	40,31	507	72,45	10017	a	c
G4	252	8	27,26497	7,45	0,42	54,42	16,06	40,12	591	122,73	13422	a	c
G4	259	6	18,13639	8,4	0,43	145,76	16,12	40,14	609	109,85	11689	b	c
G4	261	5	18,67947	6,8	0,49	152,37	16,06	40,04	641	80,82	12450	b	c
G4	262	4	15,5434	6,54	0,48	166,21	15,99	40,04	624	124,29	14851	a	c
G4	282	3	12,35546	6,17	0,39	165,73	16,21	40,06	525	79,95	8758	a	d
G4	301	9	36,01844	6,35	0,49	70,72	16,65	39,4	558	93,82	12002	b	c
G4	302	9	37,64277	6,07	0,49	79,54	16,36	39,18	557	90,02	11102	b	c
G4	326	3	11,18644	6,81	0,37	2,8	16,13	39,86	562	91,63	9488	a	d
G4	366	11	33,90212	8,24	0,36	96,65	16,49	40,3	558	112,33	14043	a	c

Dados obtidos dos corpos-de-prova estudados

Grupo	C.P.	Anéis Observados	Distância ref. (mm)	Nº Anéis por polegada	% Lenho Tardio	Inclinação dos anéis (°)	Seção Transversal		Dens (Kg/m³)	RESIST. Flexão f_b (MPa)	Módulo de Elasticidade E_b (MPa)	Tração/Ruptura	
							Altura (mm)	Largura (mm)				Simples (a) Desviada (b)	Desfibramento (c) Ruptura (d)
G4	381	9	34,00154	6,72	0,48	117,59	16,14	40	552	100,69	13515	a	c
G4	392	3	11,52667	6,61	0,47	3,52	16,14	40,02	556	106,45	13511	a	c
G4	394	3	10,73999	7,1	0,47	15,35	16,06	40,11	572	107,14	13744	a	c
G4	395	3	12,39144	6,15	0,37	166,68	16,18	39,98	530	99,64	13011	a	c
G4	402	3	10,20474	7,47	0,38	173,08	16,11	40,15	580	110,05	13357	a	d
G4	422	5	20,51128	6,19	0,48	147,46	16,06	39,94	561	100,9	13850	a	c
G4	430	7	23,11867	7,69	0,46	139,48	16,11	40,02	582	110,08	15268	a	d
G4	478	6	18,47069	8,25	0,5	18,82	16,12	39,98	594	74,43	12511	b	c
G4	497	8	29,87093	6,8	0,45	121,25	16,12	40,04	560	103,31	13360	a	c
G4	503	5	18,2422	6,96	0,43	39,73	16,23	39,98	577	107,99	13340	a	d
G4	505	4	13,93546	7,29	0,46	9,97	16,16	40	617	114,71	14102	a	d
G4	758	4	16,10437	6,31	0,46	17,26	16,1	40,07	640	119,86	14124	a	c
G4	819	6	19,48784	7,82	0,5	164,24	16,05	40,11	644	113,88	12014	a	c
G4	848	4	12,61545	8,05	0,49	172,92	16	40,11	613	131,01	15796	a	d
G4	889	7	21,911	8,11	0,45	140,84	16,19	40,15	599	112,8	13971	b	c
G5	16	10	36,44225	6,97	0,9	87,05	16,46	40,29	588	109,58	13462	a	c
G5	24	12	37,31326	8,17	0,5	83,09	16,45	40,29	612	120,83	16112	b	c
G5	25	12	36,87853	8,26	0,51	94,71	16,6	40,28	603	121,39	15376	a	c
G5	29	9	37,47603	6,1	0,51	120	16,31	40,14	594	99,23	13222	b	c
G5	40	7	16,45465	10,81	0,59	154,28	16,17	40	589	98,52	12930	b	c
G5	42	6	15,66857	9,73	0,58	161,24	16,15	40,02	629	108,86	14185	b	c
G5	43	5	15,31813	8,29	0,64	168,22	16,2	39,98	601	97,34	13775	b	c
G5	47	12	35,94539	8,48	0,57	57,14	16,31	40,2	605	113,22	15351	a	c
G5	57	7	20,37567	8,73	0,53	45	16,11	40,08	626	113,65	14860	a	c
G5	58	5	13,71102	9,26	0,53	165,93	16,33	40,28	608	108,44	14525	a	c
G5	59	4	13,32854	7,62	0,54	5,28	16,48	40,19	599	95,1	12462	a	d
G5	60	5	17,58878	7,22	0,64	154,78	16,37	40,53	651	115,84	16510	b	c
G5	61	4	14,88923	6,82	0,64	153,33	16,38	40,35	566	103,48	13173	a	d
G5	63	6	18,98381	8,03	0,54	150,26	16,33	40,46	631	107,51	14774	a	c
G5	65	10	35,42373	7,17	0,6	94,62	16,2	40,54	598	103,26	14285	b	c
G5	74	11	36,05233	7,75	0,53	105,32	16,52	40,52	592	118,44	14845	a	c
G5	82	10	34,23897	7,42	0,52	86,84	16,34	40,36	569	107,61	14964	a	c
G5	89	11	37,26386	7,5	0,66	73,61	16,32	40,31	597	108,04	14930	b	c
G5	90	10	34,12846	7,44	0,56	96,2	16,08	40,44	589	96,87	13785	b	c
G5	99	6	19,79281	7,7	0,51	145,36	16,2	40,31	607	116,82	16177	a	c
G5	102	6	18,42787	8,27	0,58	39,16	16,18	40,2	589	103,33	13316	a	c
G5	104	5	17,05476	7,45	0,51	163,97	16,33	40,09	573	109,28	13952	a	c
G5	112	6	21,91887	6,95	0,52	122,98	16,15	39,99	573	101,19	13789	a	c
G5	115	7	24,27459	7,32	0,52	135	16,19	40,11	570	91,58	13433	a	c
G5	118	7	23,31109	7,63	0,53	35,97	16,24	40,06	622	116,45	15853	a	d
G5	139	4	14,43367	7,04	0,55	6,58	16,18	40,05	612	88,5	14480	b	d
G5	140	6	16,10727	9,46	0,63	160,46	16,14	40,05	608	95,22	12867	b	d
G5	145	4	16,19066	6,28	0,58	155,29	16,23	39,97	588	79,19	11071	b	c
G5	171	10	37,63323	6,75	0,68	73,11	16,15	39,99	703	146,37	18245	a	d
G5	176	11	37,84257	7,38	0,68	106,65	16,18	39,94	704	144,45	18581	a	c
G5	180	8	26,56046	7,65	0,6	55,65	16	40,1	679	139,53	17834	a	d
G5	185	6	19,93094	7,65	0,53	37,09	16,29	40,29	627	123,09	15320	a	d
G5	188	8	25,2216	8,06	0,52	38,48	16,08	40,12	648	119,84	15923	b	c
G5	189	5	17,15469	7,4	0,52	147,16	16,17	40,04	648	130,82	16707	a	d
G5	192	6	20,03229	7,61	0,52	39,06	16,16	40,05	649	125,56	16486	a	d
G5	193	6	18,48779	8,24	0,67	157,77	16,04	40,09	684	147,23	17873	a	d
G5	194	4	13,06075	7,78	0,54	0,98	16,91	40,17	647	132,16	18225	a	d
G5	195	4	13,34685	7,61	0,54	15,18	16,1	40,18	671	137,53	17502	a	d
G5	196	5	16,5582	7,67	0,57	156,97	16,07	40,07	684	143,25	17741	a	c
G5	197	4	12,20457	8,32	0,54	2,35	16,2	40,08	700	150,99	18413	a	d
G5	198	6	15,76909	9,66	0,55	23,62	16,2	40,19	674	140,54	17409	a	c
G5	203	9	31,30504	7,3	0,59	61,35	15,97	39,86	631	107,73	13307	a	c
G5	207	11	36,88301	7,58	0,65	122,63	15,97	39,76	631	106,61	14418	b	c
G5	208	5	15,85086	8,01	0,6	155,58	16,27	40,21	603	112,84	14028	a	d
G5	210	4	16,18001	6,28	0,65	153,52	16,24	40,42	637	122,99	16431	a	d
G5	211	7	20,25761	8,78	0,62	44,06	16,21	40,19	674	131,01	15636	a	d
G5	212	5	18,05622	7,03	0,57	31,71	16,19	40,11	586	102,58	11151	a	d
G5	215	5	18,81661	6,75	0,7	133,14	16,14	40,18	692	142,95	18336	a	d
G5	217	5	13,45831	9,44	0,58	176,59	16,04	40	683	128,75	15192	a	d
G5	221	5	17,77076	7,15	0,59	154,43	16,22	40,07	589	124,52	15947	a	d
G5	256	10	37,31278	6,81	0,55	122,44	16,08	40,06	608	105,66	13465	b	c
G5	283	5	16,15157	7,86	0,59	155,32	16,12	39,96	588	100,03	11400	a	c
G5	314	9	37,07954	6,17	0,53	60,9	16,17	40,09	570	89,66	10773	a	c
G5	343	12	37,64086	8,1	0,66	82,76	16,47	40,31	576	124,56	14467	a	d
G5	344	12	38,48055	7,92	0,6	101,05	16,48	40,4	566	124,07	14810	a	d
G5	354	11	33,90508	8,24	0,58	84,94	16,33	40,3	583	119,02	15186	a	c
G5	355	13	38,38936	8,6	0,54	98,06	16,36	40,21	578	121,96	15027	a	c
G5	365	11	36,65761	7,62	0,6	95,02	16,3	40,29	580	119,62	14959	b	c
G5	386	11	37,73309	7,4	0,52	59,5	16,08	39,89	579	111,19	14221	a	c
G5	391	4	16,02659	6,34	0,56	160,96	16,12	39,96	601	117,01	14225	a	d
G5	396	5	17,6865	7,18	0,5	154,95	16,09	40,03	593	112,82	14587	a	c
G5	397	5	10,95419	11,59	0,51	7,21	15,9	39,99	654	122,19	16902	a	d
G5	398	6	15,7116	9,7	0,51	12,36	16,17	40,02	637	119,44	15849	a	c
G5	399	5	14,3268	8,86	0,7	6	16,08	40,02	631	113,98	15585	a	c
G5	400	5	12,03867	10,55	0,79	5,14	16,12	39,86	641	124,9	17890	a	d
G5	406	10	37,53386	6,77	0,6	56,89	16,02	39,93	610	112,99	13797	a	c
G5	411	10	37,36702	6,8	0,51	62,07	16,05	39,88	588	116,98	15080	a	c
G5	416	6	23,39965	6,51	0,57	50,03	16,21	40,21	595	113,67	14886	a	c

Dados obtidos dos corpos-de-prova estudados

Grupo	C.P.	Anéis Observados	Distância ref. (mm)	Nº Anéis por polegada	% Lenho Tardio	Inclinação dos anéis (°)	Seção Transversal		Dens (Kg/m³)	Resist. Flexão σ_b (MPa)	Módulo de Elasticidade E_w (MPa)	Tração/Ruptura		
							Altura (mm)	Largura (mm)				Simplex (a)	Desviada (b)	Desfibramento (c) Ruptura (d)
G5	421	5	20,56325	6,18	0,55	130,82	16,09	40,06	585	113,32	14110	a		d
G5	424	4	15,19385	6,69	0,56	145,16	16,1	39,9	550	103,08	13471	a		c
G5	425	8	24,96593	8,14	0,66	133,47	16,17	39,97	595	114,39	15039	a		c
G5	431	7	18,56841	9,56	0,58	150,32	16,12	39,95	586	112,54	15403	a		c
G5	479	5	16,92541	7,5	0,69	23,98	16,13	39,77	620	119,71	14248	a		c
G5	480	2	8,19891	6,2	0,65	175,13	16,17	39,97	584	104,52	13308	a		c
G5	481	8	21,81376	6,99	0,58	24,96	16,18	40	567	101,52	12747	a		c
G5	506	5	19,90786	6,38	0,54	28,23	16,22	40,28	619	87,17	13396	b		c
G5	509	6	19,22963	7,93	0,52	150,44	16,16	40,06	624	119,03	15591	b		c
G5	556	5	19,89631	6,38	0,54	32,22	16,08	39,93	612	114,64	14592	a		c
G5	582	7	29,49932	6,03	0,61	87,09	16,43	40,28	645	134,55	16796	a		c
G5	583	7	29,61401	6	0,59	76,36	16,33	40,41	636	136,54	16701	a		c
G5	591	8	32,24818	6,3	0,61	110,37	16,44	40,42	636	132,9	16163	b		c
G5	602	12	39,01988	7,81	0,62	113,81	16,1	40	680	113,01	14996	a		c
G5	607	9	34,87574	6,55	0,63	108,85	16,01	39,95	672	128,72	15896	a		c
G5	611	12	34,31942	8,88	0,63	126,17	16,01	39,72	669	123,02	14852	a		c
G5	615	6	20,70296	7,36	0,61	128,53	16,07	39,91	672	124,78	16452	a		c
G5	618	5	17,9693	7,07	0,6	29,74	16,13	39,93	710	138,61	16676	b		c
G5	620	4	13,76536	7,38	0,64	20,41	16,08	39,91	677	107,27	13907	a		c
G5	623	5	9,92358	12,8	0,66	175,65	16,07	40,03	713	138,27	16357	a		c
G5	625	8	19,59389	10,37	0,59	17,62	16,16	39,94	698	122,43	17485	a		c
G5	626	3	11,36478	6,7	0,66	1,13	16	39,82	713	98,82	14464	a		c
G5	627	6	17,63038	8,64	0,65	22,45	15,89	40,11	693	125,2	17722	b		c
G5	628	8	33,36702	6,09	0,59	113,03	16,02	40	640	119,91	16048	a		c
G5	644	5	18,05542	7,03	0,74	164,43	16,12	40,11	647	130	16782	b		d
G5	646	4	15,52306	6,55	0,6	154,9	16,22	40,09	639	126,69	16303	a		c
G5	647	5	19,42879	6,54	0,66	159,36	16,02	40,04	643	126,71	14918	a		c
G5	649	5	18,2422	6,96	0,59	143,46	16,02	39,95	650	80,98	13533	b		d
G5	650	6	15,23539	10	0,57	17,7	16,06	40,08	686	132,56	17092	b		c
G5	651	4	14,16041	7,17	0,67	173,43	16,02	40,03	679	127,69	17742	a		c
G5	653	4	14,91911	6,81	0,54	9,68	16,18	39,98	665	121,54	16208	b		c
G5	654	8	32,8031	6,18	0,59	95,4	16,38	40,2	642	133,81	15183	b		c
G5	682	8	32,85863	6,18	0,68	120,76	16,45	40,32	672	142	16882	a		c
G5	692	6	19,89631	7,66	0,91	27,14	16,05	39,98	699	129,47	17453	a		c
G5	696	6	20,85504	7,31	0,62	27,86	16,11	40,09	676	132,44	15720	b		c
G5	696	5	12,33917	10,29	0,7	175,06	16,06	40,03	618	119,63	15642	b		c
G5	697	5	21,0988	6,02	0,6	19,71	16,19	40,26	675	119,3	15672	a		c
G5	698	4	11,96486	8,48	0,57	1,04	16,11	39,96	655	118,38	16573	a		d
G5	699	4	14,42173	7,04	0,53	166,22	16,14	40,01	683	127,2	16961	a		d
G5	724	3	11,90791	6,4	0,63	176,23	15,95	39,92	677	85,27	14157	b		d
G5	747	7	27,07836	6,57	0,72	52,47	16,04	40	687	59,1	7668	a		c
G5	751	6	20,68908	7,37	0,62	59,04	15,92	39,79	685	130,36	16501	a		c
G5	753	6	23,22219	6,56	0,67	145,49	16,06	40,15	681	123,65	15856	a		c
G5	754	5	20,92105	6,07	0,59	154,03	16,02	39,84	671	103,16	13718	a		c
G5	757	3	12,58353	6,06	0,57	2,87	15,82	40,19	639	83,18	12928	a		d
G5	782	7	20,85504	8,53	0,72	23,84	16,12	40,11	668	128,87	17093	b		c
G5	783	4	11,64938	8,72	0,59	178,56	16,02	40,08	603	95,02	13080	a		d
G5	792	7	20,63625	8,62	0,73	160,76	16,26	40,27	626	114,57	13799	a		c
G5	793	6	14,22921	10,71	0,64	167,78	16,05	40,11	625	117,25	14280	b		c
G5	795	5	20,37567	6,23	0,7	156,42	16,18	40,22	592	90,71	9985	a		c
G5	797	7	18,31784	9,71	0,74	144,33	16,1	40,02	667	122,29	15135	b		c
G5	800	8	27,38219	7,42	0,67	127,25	16,02	40,17	632	118,39	14409	a		c
G5	803	9	31,38112	7,28	0,63	50,71	15,98	39,99	627	116,08	14565	a		c
G5	806	10	36,66662	6,93	0,67	115,44	16,26	40,08	595	108,35	11756	b		c
G5	809	10	37,84029	6,71	0,62	113,99	16,16	40	616	118,18	12727	b		c
G5	811	6	24,00086	6,35	0,6	38,31	16,19	39,96	595	98,44	11547	a		c
G5	813	8	20,37567	9,97	0,64	24,16	16,17	40,07	670	62,5	8968	a		c
G5	815	6	17,02357	8,95	0,6	20,33	16,16	40,13	605	109,09	12027	a		d
G5	822	7	25,85621	6,88	0,69	38,42	16,12	40,22	640	122,32	13815	a		c
G5	828	4	14,91525	6,81	0,52	171,97	16,11	40,15	614	107,97	13730	b		d
G5	829	6	21,97123	6,94	0,5	148,72	16,12	40,08	604	110,97	13495	b		c
G5	833	8	30,01675	6,77	0,64	58,45	16,02	39,91	626	120,39	14431	b		c
G5	837	10	33,42895	7,6	0,59	51,86	15,97	39,93	612	119,65	15271	a		c
G5	840	8	24,35494	6,26	0,58	137,24	16,03	40,06	605	117,62	14288	b		c
G5	843	8	29,08965	6,99	0,58	141,07	16,02	40,08	622	115,27	15005	b		c
G5	846	6	21,14233	7,21	0,53	31,08	15,79	40,12	628	128,84	15270	b		c
G5	849	7	25,57694	6,95	0,54	147,49	15,87	40,3	615	120,94	15150	b		c
G5	856	4	16,56861	6,13	0,65	20,75	16,04	40,15	683	119,64	13896	a		d
G5	860	4	13,55932	7,49	0,65	4,4	16,15	40,21	655	109,14	12241	a		d
G5	861	4	16,64127	6,11	0,62	171,17	16,14	40,18	633	117,34	13668	a		c
G5	862	4	13,56356	7,49	0,57	2,93	16,17	40,26	646	125,59	15215	b		d
G5	863	4	13,29401	7,64	0,55	169,08	16,23	40,08	661	119,96	14457	a		c
G5	870	5	12,22221	10,39	0,59	4,29	16,06	39,99	593	113,94	13424	a		c
G5	871	5	16,10437	7,89	0,56	22,78	16,08	39,81	618	69,24	9737	a		c
G5	881	6	19,65517	7,75	0,57	17,06	16,2	40,03	566	73,72	9874	a		d