

UMBERTO KLOCK

**QUALIDADE DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi*
H. E. MOORE**

Tese apresentada à Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Moreschi

CURITIBA
2000

A meus pais, Cecília e Artur Antônio Klock (*in memorium*)

pelo amor, dedicação e exemplo de vida.

Meu reconhecimento.

A meus alunos, razão de meu trabalho,

Dedico e ofereço.

AGRADECIMENTOS

O autor manifesta seus sinceros agradecimentos ao orientador, professor Dr. João Carlos Moreschi, pelos valiosos ensinamentos, confiança, incentivo e estímulo transformados em amizade e respeito, durante o convívio na vida acadêmica.

A professora Dra. Graciela Inês Bolzon de Muñiz e professor Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos, pela amizade e companheirismo, e pelas valiosas contribuições apresentadas durante o curso.

A amiga, Mestre em Ciências Florestais Silvana Nisgoski, pelo intenso trabalho na coleta de dados anatômicos da madeira.

A servidora Dionéia Calixto de Souza, do Laboratório de Química da Madeira e Polpa e Papel do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, pelo apoio e dedicação, e trabalho cotidiano na coleta de dados.

Aos estudantes dos Cursos de Engenharia Florestal, bolsistas Eduardo Bittencourt e Hamilton de Menezes Fernandes, Rubens Ruthes e Ezequiel Mocelin; de Engenharia Industrial Madeireira Alberty de Oliveira, Paulo Augusto Veronese, Cristiane Crepaldi, Gisele Satomi Arita e Márcia Regina Quaquarelli; pelo valioso auxílio e empenho na coleta dos dados.

Aos servidores do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, senhores Antônio Perin e Vitor Daniel Herrera pelo apoio nos trabalhos de preparação das amostras para coleta de dados.

Aos demais professores, funcionários e colegas de curso, e aqueles que direta ou indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.

Aos meus alunos, pela compreensão e incentivo cotidiano.

Aos meus familiares que muito me incentivaram, especialmente ao meu sobrinho Alan Sulato de Andrade, estudante de Engenharia Industrial Madeireira, pelo valioso apoio, auxílio e empenho cotidiano em diversas atividades desse estudo.

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade oferecida para execução deste trabalho.

Ao Conselho Setorial de Ciências Agrárias, em especial ao seu Presidente Prof. Dr. José Sidney Fleming, pela confiança, e apoio dispensado para a conclusão do Programa de Doutorado.

Ao Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, meus caros colegas professores, pelo apoio incondicional recebido nas horas difíceis, em especial a Profa. Dra. Ghislaine Miranda Bonduelle, Chefe do Departamento.

Ao colegas pós-graduandos da Área de Concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, pelo apoio.

À PISA - Papel de Imprensa S.A., pela importante e fundamental contribuição no fornecimento do material para execução deste trabalho, e pela confiança em nós depositada.

À Deus, meu eterno agradecimento por mais esta graça alcançada.

BIOGRAFIA

UMBERTO, filho de Artur Antônio Klock e Cecília Klock, nasceu em Lages, Estado de Santa Catarina, em 25 de fevereiro de 1957.

Concluiu o curso primário no Grupo Escolar Estadual Luiz Delfino, em Blumenau-SC; iniciou o curso ginásial no Colégio Estadual Dom Pedro II, em Blumenau-SC; concluindo-o no Colégio Estadual Tiradentes, em Curitiba-PR; cursou o segundo grau na Escola Técnica Federal do Paraná, em Curitiba-PR, curso Técnico em Edificações.

Em 1980, ingressou no Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, graduando-se em dezembro de 1985.

Em março de 1986, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais na Universidade Federal do Paraná, como bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, obtendo o título de Mestre em Ciências Florestais, em dezembro de 1989.

No período entre agosto e novembro de 1987, participou do Curso de Aperfeiçoamento Individual, na área de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, no Forest and Forestry Products Research Institute - FFPRI, em Tsukuba, no Japão, com bolsa da JICA - Japan International Cooperation Agency.

Em julho de 1993 através de concurso público, ingressou no Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais da Universidade Federal do Paraná, atuando como professor Assistente, na área de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, nas disciplinas de Química da Madeira e Polpa e Papel, para o curso de graduação em Engenharia Florestal, nas disciplinas de Química dos Processos de Produção de Polpa Celulósica, Tecnologia da Produção de Polpa Celulósica, Tecnologia da Produção de Papel, e Química da Madeira como

tópico especial, no Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, e a disciplina de Introdução à Tecnologia da Madeira, para o Curso de Engenharia Industrial Madeireira, a partir de 1999.

Coordena os convênios entre a Universidade Federal do Paraná e a Universidade do Contestado, e entre a Universidade Federal do Paraná e a Universidade do Planalto Catarinense.

Exerceu também, no período diversas atividades administrativas, de pesquisa e extensão no âmbito do Departamento.

Em 1994, iniciou o Curso de Doutorado na área de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais no Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, defendendo tese, em 23 de novembro de 2000.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xxii
RESUMO	xxvii
ABSTRACT	xxix
1 INTRODUÇÃO	01
2 OBJETIVOS	05
3 JUSTIFICATIVAS	06
4 REVISÃO DE LITERATURA	07
4.1 ESPÉCIES ESTUDADAS.....	07
4.1.1 <i>Pinus maximinoi</i> H.E.Moore.....	07
4.1.1.1 Taxonomia.....	07
4.1.1.2 Distribuição natural da espécie.....	08
4.1.1.3 Desenvolvimento de <i>Pinus maximinoi</i> em plantações piloto e testes de progênies.....	09
4.1.1.4 Ecologia.....	10
4.1.1.5 Qualidade da madeira de <i>Pinus maximinoi</i>	10
4.1.2 <i>Pinus taeda</i> L.	12
4.2 QUALIDADE DA MADEIRA.....	13
4.3 MADEIRA JUVENIL.....	18
4.3.1 Definição de madeira juvenil.....	18
4.3.2 Localização da madeira juvenil.....	19
4.3.3 Características da madeira juvenil.....	20
4.3.4 Importância da madeira juvenil.....	22
4.4 PROPRIEDADES DA MADEIRA.....	23
4.4.1 Características anatômicas.....	23
4.4.1.1 Estrutura da madeira.....	23
4.4.1.2 Ultra estrutura da parede celular.....	25
4.4.1.3 Madeira de reação.....	29
4.4.1.4 Largura dos anéis de crescimento.....	32

4.4.1.5 Porcentagem de lenho tardio.....	33
4.4.1.6 Inclinação da grã e nodosidade.....	34
4.4.1.7 Práticas silviculturais.....	35
4.4.2 A madeira de coníferas.....	37
4.5 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA.....	45
4.5.1 Substâncias macromoleculares.....	46
4.5.1.1 Celulose.....	47
4.5.1.2 Polioses (hemiceluloses).....	47
4.5.1.3 Lignina.....	47
4.5.2 Substâncias poliméricas secundárias.....	48
4.5.3 Substâncias de baixo peso molecular.....	48
4.5.3.1 Formação e função dos extrativos.....	50
4.5.3.2 Localização dos extrativos.....	51
4.5.3.3 Compostos inorgânicos e substâncias pécticas.....	52
4.6 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA.....	53
4.6.1 Massa específica da madeira.....	53
4.6.1.1 Massa específica aparente da madeira.....	54
4.6.1.2 Fatores que afetam a massa específica da madeira.....	55
4.6.1.3 Umidade na madeira.....	57
4.6.1.4 Determinação do teor de umidade na madeira.....	59
4.6.1.5 Umidade de equilíbrio da madeira.....	60
4.6.2 Contração e inchamento da madeira.....	61
4.6.2.1 Caracterização da anisotropia de contração.....	62
4.7 RESISTÊNCIA DA MADEIRA.....	66
4.7.1 Propriedades mecânicas da madeira.....	66
4.7.1.1 Resistência dos materiais.....	67
4.7.2 Elasticidade e Módulo de Elasticidade da madeira.....	68
4.7.4 Determinação do Módulo de Elasticidade.....	69
4.7.5 Resistência a flexão estática.....	70
4.7.6 Resistência à compressão paralela às fibras ou axial.....	73
4.7.7 Resistência ao cisalhamento.....	75
4.7.8 Resistência a dureza.....	75

4.8 OBTENÇÃO DE CELULOSE E PAPEL A PARTIR DA MADEIRA.....	76
4.8.1 Separação das fibras.....	77
4.8.2 Processos químicos de obtenção de celulose.....	78
4.8.3 Processo sulfato ou <i>Kraft</i>	79
4.9 PROPRIEDADES DO PAPEL E ENSAIOS PARA SUA AVALIAÇÃO.....	
4.9.1 Propriedades físicas do papel.....	85
4.9.1.1 Gramatura, Espessura e Densidade aparente do papel.....	85
4.9.2 Propriedades mecânicas de resistência do papel.....	86
4.9.2.1 Resistência à tração.....	87
4.9.2.2 Resistência ao arrebentamento (estouro).....	88
4.9.2.3 Resistência ao rasgo.....	89
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	92
5.1. ESPÉCIES ESTUDADAS.....	92
5.2 AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO DO MATERIAL.....	96
5.3 ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA.....	102
5.3.1 Determinação das características anatômicas da madeira juvenil.....	103
5.3.1.1 Caracterização anatômica da madeira juvenil.....	104
5.3.1.2 Características morfológicas dos traqueóides axiais.....	104
5.3.1.3 Relações entre dimensões dos traqueóides axiais (fibras).....	105
5.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA JUVENIL.....	105
5.4.1 Características das árvores amostradas.....	105
5.4.2 Determinação da massa específica da madeira juvenil.....	106
5.4.2.1 Determinação da massa específica básica da madeira juvenil.....	107
5.4.2.2 Determinação da massa específica aparente a 12% de umidade da madeira juvenil.....	108
5.4.3. Determinação da porcentagem de lenho tardio.....	108
5.4.4. Determinação da retratibilidade.....	109
5.5. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA MECÂNICAS DA MADEIRA JUVENIL.....	111
5.5.1 Resistência a flexão estática.....	112
5.5.2 Resistência à compressão paralela às fibras.....	113

5.5.3. Resistência ao cisalhamento.....	115
5.5.4. Resistência a dureza	116
5.6. ANÁLISES QUÍMICAS QUANTITATIVAS DA MADEIRA JUVENIL.....	117
5.7. PRODUÇÃO DE CELULOSE <i>KRAFT</i> A PARTIR DA MADEIRA JUVENIL.....	118
5.7.1. Determinação do número <i>Kappa</i> da celulose.....	119
5.7.2 Ensaio físicos e mecânicos do papel confeccionado a mão a partir da celulose obtida de <i>Pinus maximinoi</i> e <i>Pinus. taeda</i>	120
5.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	121
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	125
6.1 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DA MADEIRA.....	125
6.1.1 Descrição das características microscópicas da madeira juvenil.....	125
6.1.2 Análise dos resultados observados nos cortes microscópicos.....	129
6.1.3 Características morfológicas dos traqueóides na madeira juvenil.....	135
6.1.4 Relações entre dimensões dos traqueóides axiais (fibras).....	146
6.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA.....	152
6.2.1 Características das árvores amostradas	153
6.2.2 Massa específica aparente básica ao longo do fuste.....	158
6.2.3 Porcentagem de lenho tardio ao longo do fuste.....	162
6.2.4 Correlações entre propriedades físicas ao longo do fuste das árvores amostradas.....	166
6.2.5 Retratibilidade da madeira juvenil	171
6.2.6 Correlações entre as propriedades de retratibilidade da madeira juvenil com a massa específica e porcentagem de lenho tardio.....	186
6.2.6.1 Equação linear simples para estimativa da massa específica aparente a 12% de umidade.....	192
6.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA.....	194
6.3.1 Resistência à flexão estática.....	194
6.3.1.1 Resultados médios de resistência à flexão estática - Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade	194
6.3.1.2 Correlações entre as propriedades de resistência à flexão estática e massa específica aparente a 12 % de umidade, e porcentagem de lenho tardio.....	204

6.3.2 Resistência à compressão paralela às fibras.....	209
6.3.2.1 Resultados médios de resistência à compressão paralela às fibras Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade	209
6.3.2.2 Correlações entre as propriedades de resistência à compressão paralela às fibras e massa específica aparente e porcentagem de lenho tardio.....	218
6.3.3 Resistência ao cisalhamento.....	224
6.3.3.1 Resultados médios de resistência ao cisalhamento.....	224
6.3.3.2 Correlações entre as propriedades de resistência ao cisalhamento, massa específica aparente e porcentagem de lenho tardio.....	231
6.3.4 Propriedades de dureza.....	235
6.3.4.1 Resultados médios de dureza tangencial, radial e longitudinal.....	235
6.3.4.2 Correlações entre a dureza com a massa específica aparente e porcentagem de lenho tardio.....	240
6.4 PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA.....	245
6.4.1 Resultados das determinações químicas quantitativas da madeira juvenil	245
6.5 PROPRIEDADES DA CELULOSE E PAPEL FEITO A MÃO PRODUZIDA COM A MADEIRA JUVENIL DAS ESPÉCIES.....	248
6.5.1 Propriedades da celulose e papel feito a mão produzida com a madeira juvenil	248
6.6. RESUMO DOS RESULTADOS DA HIPÓTESE H_0 , DE IGUALDADE ENTRE AS CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DA MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i>	260
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	267
ANEXOS.....	271
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	279

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - VARIAÇÃO DA PROPORÇÃO DA MADEIRA JUVENIL EM FUNÇÃO DA IDADE DA ÁRVORE DE <i>Pinus taeda</i> , (KELLINSON, 1981).	23
TABELA 02 - PRINCIPAIS FUNÇÕES EXERCIDAS PELOS DIVERSOS TIPOS DE CÉLULAS PRESENTES EM CONÍFERAS E FOLHOSAS (KLOCK & MUÑIZ, 1998)	24
TABELA 03 - ESPESSURA RELATIVA DAS CAMADAS DA PAREDE CELULAR COM OS RESPECTIVOS ÂNGULOS MICROFIBRILARES (THOMAS, 1991)	28
TABELA 04 - COMPARAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DOS LENHOS DE COMPRESSÃO E TRAÇÃO (CÔTÉ & DAY, 1965; KOLLMANN & CÔTÉ, 1968).	31
TABELA 05 - COMPOSIÇÃO VOLUMÉTRICA DA MADEIRA, EM PORCENTAGEM (%), DE ALGUMAS ESPÉCIES DE CONÍFERAS (PANSHIN & ZEEUW, 1980)	37
TABELA 06 - DIMENSÃO DE TRAQUEÓIDES LONGITUDINAIS (MADEIRA ADULTA) (WHEELER, 2000).	39
TABELA 07 - CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES DE <i>Pinus caribaea</i> VAR. <i>hondurensis</i> DE 20 ANOS, A ALTURA DO DAP (MÉDIA DE 10 ÁRVORES) - (KLOCK, 1989).	40
TABELA 08 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR DA MADEIRA (FENGEL & WEGENER, 1989)	45
TABELA 09 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DE MADEIRAS DE CONÍFERAS E FOLHOSAS DE ACORDO COM FENGEL & WEGENER (1989).	46
TABELA 10 - RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DO PAPEL FEITO A MÃO DE CONÍFERAS PLANTADAS NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS, AJUSTADOS PARA DENSIDADE APARENTE DO PAPEL DE 0,600 g.cm ⁻³ (Adaptado DE FOEKEL, 1976).	91
TABELA 11 CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES AMOSTRADAS - <i>Pinus maximinoi</i>	94
TABELA 12 - CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES AMOSTRADAS - <i>Pinus taeda</i>	95
TABELA 13 - CONDIÇÃO EXPERIMENTAL DE COZIMENTO PARA ESTUDO DA QUALIDADE DOS TRAQUEÓIDES NA CELULOSE KRAFT DA MADEIRA	

JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* 118

TABELA 14 - VARIAÇÃO DA ALTURA E FREQUÊNCIA MÉDIA DOS RAIOS NA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* NAS POSIÇÕES INTERNA, MÉDIA E EXTERNA EM RELAÇÃO A DIREÇÃO MEDULA-CASCA, NA ALTURA DO DAP (1,30m). 130

TABELA 15 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS DADOS MÉDIOS DOS RAIOS DA MADEIRA JUVENIL, A ALTURA DO DAP (1,30m) NAS POSIÇÕES INTERNA, MÉDIA E EXTERNA (SENTIDO MEDULA-CASCA) DE *Pinus maximinoi*. 132

TABELA 16 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS DADOS MÉDIOS DOS RAIOS DA MADEIRA JUVENIL, A ALTURA DO DAP (1,30m) NAS POSIÇÕES INTERNA, MÉDIA E EXTERNA (SENTIDO MEDULA-CASCA) DE *Pinus taeda*. 132

TABELA 17 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS DADOS OBTIDOS NOS RAIOS DA MADEIRA JUVENIL, A ALTURA DO DAP (1,30m) DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. ALTURA DOS RAIOS EM MICROMETROS, EM NÚMERO DE CÉLULAS E FREQUÊNCIA MÉDIA POR MILÍMETRO, NAS POSIÇÕES 1 (INTERNA), 2 (MÉDIA) E 3 (EXTERNA) EM RELAÇÃO A DIREÇÃO MEDULA-CASCA. 133

TABELA 18 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS DADOS MÉDIOS OBTIDOS NOS RAIOS DA MADEIRA JUVENIL, À ALTURA DO DAP (1,30m) DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. ALTURA DOS RAIOS EM MICROMETROS, EM NÚMERO DE CÉLULAS E FREQUÊNCIA MÉDIA POR MILÍMETRO. 133

TABELA 19 - VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. 135

TABELA 20 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* 136

TABELA 21 - VALORES MÉDIOS MENSURADOS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO NA MADEIRA JUVENIL, A ALTURA DO DAP, NO SEGUNDO, QUARTO, SEXTO E OITAVO ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. 138

TABELA 22 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES

AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO, A ALTURA DO DAP, NO SEGUNDO, QUARTO, SEXTO E OITAVO ANEL ANUAL DE CRESCIMENTO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. 141

TABELA 23 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA ENTRE OS VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO, A ALTURA DO DAP, NO SEGUNDO, QUARTO, SEXTO E OITAVO ANEL ANUAL DE CRESCIMENTO DA MADEIRA JUVENIL *Pinus maximinoi* e DE *Pinus taeda* . 142

TABELA 24 - RESULTADOS MÉDIOS DAS RELAÇÕES CALCULADAS ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, A ALTURA DO DAP, DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. DADOS OBTIDOS EM 2000. 147

TABELA 25 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS RELAÇÕES CALCULADAS ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, A ALTURA DO DAP, DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. 147

TABELA 26 - VALORES MÉDIOS DAS RELAÇÕES CALCULADAS ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS NOS ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO PARA O LENHO TARDIO E INICIAL DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.. 148

TABELA 27 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS RELAÇÕES CALCULADAS ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, A ALTURA DO DAP, NOS ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. 150

TABELA 28 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS RELAÇÕES CALCULADAS ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, A ALTURA DO DAP, DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* ENTRE OS ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO. 151

TABELA 29 - CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi* DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO, ALTURA TOTAL, ALTURA COMERCIAL, VOLUME COMERCIAL COM CASCA E SEM CASCA, PORCENTAGEM DE CASCA, MASSA ESPECÍFICA PONDERADA MÉDIA E PORCENTAGEM PONDERADA MÉDIA DE LENHO TARDIO. 153

TABELA 30 - CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus taeda*. DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO, ALTURA TOTAL, ALTURA COMERCIAL, VOLUME COMERCIAL COM CASCA E SEM CASCA, PORCENTAGEM DE CASCA, MASSA ESPECÍFICA PONDERADA MÉDIA E PORCENTAGEM PONDERADA MÉDIA DE LENHO TARDIO. 154

TABELA 31 - RESUMO DOS TESTES "t" DE <i>STUDENT</i> , PARA AS CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES, DETERMINADAS PARA AS ARVORES AMOSTRADAS ENTRE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i>	156
TABELA 32 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA MÉDIA POR POSIÇÃO (ALTURA) RELATIVA AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	159
TABELA 33 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA NAS ALTURAS RELATIVAS, DETERMINADAS PARA AS ARVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i>	162
TABELA 34 - PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO NAS ALTURAS RELATIVAS AO LONGO DO FUSTE, COM RESPECTIVOS DESVIOS PADRÕES, COEFICIENTES DE VARIAÇÃO, E COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS, PARA <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	163
TABELA 35 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DA PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO NAS ALTURAS RELATIVAS, DETERMINADAS PARA AS ARVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus maximinoi</i>	165
TABELA 36 - EQUAÇÕES LINEARES E CORRELAÇÕES DETERMINADAS ENTRE A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i>	167
TABELA 37 - EQUAÇÕES LINEARES E CORRELAÇÕES DETERMINADAS ENTRE ALTURA, DIÂMETRO COM CASCA, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i>	170
TABELA 38 - RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, MASSAS ESPECÍFICAS APARENTE E BÁSICA, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	172
TABELA 39 - RESULTADOS MÉDIOS DOS COEFICIENTES DE RETRATIBILIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> . E TEOR DE UMIDADE DOS CORPOS-DE-PROVA.	173
TABELA 40 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, MASSAS ESPECÍFICAS APARENTE E BÁSICA, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	174
TABELA 41 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS COEFICIENTES	

DE RETRATIBILIDADE DA MADEIRA JUVENIL ENTRE <i>Pinus maximinoi</i> E <i>Pinus taeda</i> .	175
TABELA 42 - RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, MASSAS ESPECÍFICAS APARENTE E BÁSICA, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, POR ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus maximinoi</i> .	179
TABELA 43 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, MASSAS ESPECÍFICAS APARENTE E BÁSICA, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus maximinoi</i> .	180
TABELA 44 - RESULTADOS MÉDIOS DOS COEFICIENTES DE RETRATIBILIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12%, PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus maximinoi</i> .	181
TABELA 45 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS COEFICIENTES DE RETRATIBILIDADE DA MADEIRA JUVENIL ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus maximinoi</i> .	182
TABELA 46 - RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, MASSAS ESPECÍFICAS APARENTE E BÁSICA, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, POR ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus taeda</i> .	183
TABELA 47 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, MASSAS ESPECÍFICAS APARENTE E BÁSICA, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus taeda</i> .	184
TABELA 48 - RESULTADOS MÉDIOS DOS COEFICIENTES DE RETRATIBILIDADE, MASSAS ESPECÍFICAS APARENTE, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus taeda</i> .	185
TABELA 49 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS COEFICIENTES DE RETRATIBILIDADE DA MADEIRA JUVENIL ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus taeda</i> .	186
TABELA 50 - EQUAÇÕES LINEARES E CORRELAÇÕES DETERMINADAS ENTRE AS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE, E COM A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	190

TABELA 51 - RESULTADOS MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) À FLEXÃO ESTÁTICA, MASSA ESPECÍFICA APARENTE, PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO E TEOR DE UMIDADE ⁶ DETERMINADOS NOS CORPOS DE PROVA, DA MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E <i>Pinus taeda</i> .	195
TABELA 52 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA, MASSA ESPECÍFICA APARENTE, PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL, ENTRE <i>Pinus maximinoi</i> E <i>Pinus taeda</i>	196
TABELA 53 - VALORES MÉDIOS DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, OBTIDOS NO ENSAIO À FLEXÃO ESTÁTICA, PARA AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus maximinoi</i> .	198
TABELA 54 RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, OBTIDOS NO ENSAIO À FLEXÃO ESTÁTICA, PARA AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus maximinoi</i> .	198
TABELA 55 - VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA, MÓDULO DE ELASTICIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA OBTIDOS NO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA, PARA AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus taeda</i> .	199
TABELA 56 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, OBTIDOS NO ENSAIO À FLEXÃO ESTÁTICA, PARA AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus taeda</i> .	199
TABELA 57 - EQUAÇÕES LINEARES E CORRELAÇÕES DETERMINADAS PARA OS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA, COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E COM A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E <i>Pinus taeda</i> .	207
TABELA 58 - RESULTADOS MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, MASSA ESPECÍFICA APARENTE, PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO E TEOR DE UMIDADE DETERMINADOS NOS CORPOS DE PROVA, DA MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E <i>Pinus taeda</i> .	210
TABELA 59 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, DETERMINADOS PARA O LENHO JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	212

TABELA 60 - VALORES MÉDIOS DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO OBTIDOS NO ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, PARA AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus maximinoi</i> .	213
TABELA 61 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus maximinoi</i>	214
TABELA 62 - VALORES MÉDIOS DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO OBTIDOS NO ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, PARA AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus taeda</i> .	215
TABELA 63 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus taeda</i> .	215
TABELA 64 - EQUAÇÕES LINEARES E CORRELAÇÕES DETERMINADAS PARA OS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E COM A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	221
TABELA 65 - RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL E RADIAL, MASSA ESPECÍFICA APARENTE, PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO E TEOR DE UMIDADE ⁵ DETERMINADOS NOS CORPOS DE PROVA, DA MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	225
TABELA 66 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS TENSÕES MÁXIMAS DE CISALHAMENTO TANGENCIAL, MASSA ESPECÍFICA APARENTE, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DETERMINADAS PARA A MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	226
TABELA 67 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS TENSÕES MÁXIMAS DE CISALHAMENTO RADIAL, MASSA ESPECÍFICA APARENTE, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DETERMINADAS PARA A MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	227
TABELA 68 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO, MASSA ESPECÍFICA APARENTE A E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DETERMINADAS PARA A MADEIRA JUVENIL ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i>	229
TABELA 69 - EQUAÇÕES LINEARES E CORRELAÇÕES DETERMINADAS ENTRE AS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL E RADIAL, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM	

DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E <i>Pinus taeda</i> .	234
TABELA 70 - RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA A DUREZA NOS SENTIDOS TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL, MASSA ESPECÍFICA APARENTE MÉDIA, PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO E TEOR DE UMIDADE DOS CORPOS DE PROVA PARA A MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	236
TABELA 71 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA AS DUREZAS TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL ENTRE A MADEIRA JUVENIL <i>Pinus maximinoi</i> E <i>Pinus taeda</i> .	237
TABELA 72 RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS PROPRIEDADES DE DUREZA, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DETERMINADAS PARA A MADEIRA JUVENIL ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	240
TABELA 73 EQUAÇÕES LINEARES E CORRELAÇÕES DETERMINADAS ENTRE AS DUREZAS TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL, COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i>	243
TABELA 74 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA QUANTITATIVA MÉDIA DA MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E <i>Pinus taeda</i> .	245
TABELA 75 - RESUMO DOS TESTES "t" DE <i>STUDENT</i> PARA AS CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA JUVENIL ENTRE <i>Pinus maximinoi</i> E <i>Pinus taeda</i> .	246
TABELA 76 - RENDIMENTO MÉDIO BRUTO, TEOR DE REJEITOS E NÚMERO KAPPA MÉDIO DAS CELULOSES OBTIDAS EM LABORATÓRIO PELO PROCESSO <i>KRAFT</i> , DA MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	248
TABELA 77 - PROPRIEDADES DAS FOLHAS DE PAPEL FEITAS A MÃO, A PARTIR DA CELULOSE <i>KRAFT</i> OBTIDA EM LABORATÓRIO DA MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E <i>Pinus taeda</i>	249
TABELA 78 - RESUMOS DOS TESTES "t" DE <i>STUDENT</i> , PARA AS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA DAS FOLHAS DE PAPEL FEITAS A MÃO, A PARTIR DE CELULOSE <i>KRAFT</i> DA MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> , ENTRE TRATAMENTOS DE REFINO.	252
TABELA 79 - RESUMOS DOS TESTES "t" DE <i>STUDENT</i> , PARA AS PROPRIEDADES MÉDIAS DA CELULOSE <i>KRAFT</i> E DAS MÉDIAS GERAIS DOS	

TRATAMENTOS DE REFINO DAS FOLHAS DE PAPEL FEITAS A MÃO, DA MADEIRA JUVENIL, ENTRE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i>	253
TABELA 80 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO PAPEL FEITO A MÃO DA MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> ENTRE OS TRATAMENTOS DE REFINAÇÃO.	254
TABELA 81 - CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DA MADEIRA JUVENIL	261
TABELA 82 - CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS.	261
TABELA 83 - RELAÇÕES ENTRE AS DIMENSÕES MÉDIAS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS.	262
TABELA 84 - PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA JUVENIL.	263
TABELA 85 - PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIAS MECÂNICAS.	264
TABELA 86 - PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA, PROPRIEDADES DA CELULOSE E PAPEL PROPRIEDADES DO PAPEL FEITO A MÃO POR TRATAMENTO DE REFINAÇÃO.	265
TABELA 87 - PROPRIEDADES DAS FOLHAS DE PAPEL FEITO A MÃO POR TRATAMENTO DE REFINAÇÃO.	266

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - ZONAS DE VARIAÇÃO DE PROPRIEDADES DA MADEIRA EM ÁRVORES DE <i>Pinus radiata</i> .	15
FIGURA 02 - LOCALIZAÇÃO DA MADEIRA JUVENIL NA ÁRVORE	20
FIGURA 03 - MODELO DA ESTRUTURA CELULAR DE TRAQUEÓIDES DE CONÍFERAS E FIBRAS LIBRIFORMES DE FOLHOSAS	26
FIGURA 04 - ESQUEMA DA ESTRUTURA FIBRILAR DA PAREDE CELULAR	28
FIGURA 05 – A – MICROFOTOGRAFIA ELETRONICA DE LENHO DE TENSÃO DE FOLHOSA. B - MICROFOTOGRAFIA ELETRONICA DA MADEIRA DE COMPRESSÃO DE CONÍFERA (<i>Pseudotsuga menziesii</i>).	30
FIGURA 06 - TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL E TARDIO. A – PONTUAÇÕES AREOLADAS ENTRE TRAQUEÓIDES; B – PONTUAÇÕES AREOLADAS ENTRE TRAQUEÓIDE AXIAL E RADIAL; C – PONTUAÇÕES PINÓIDES ENTRE TRAQUEÓIDE E RAIOS PARENQUIMÁTICO.	38
FIGURA 07 - DIAGRAMAS: A – PONTUAÇÃO AREOLADA B – PONTUAÇÃO SEMI-AREOLADA	41
FIGURA 08 - ESQUEMA DA MADEIRA DE CONÍFERAS NOS TRÊS PLANOS DE OBSERVAÇÃO	44
FIGURA 09 - DIAGRAMAS DAS FORÇAS DE COMPRESSÃO, TRAÇÃO E CISALHAMENTO QUE ATUAM NA FLEXÃO ESTÁTICA PARA DIFERENTES APLICAÇÕES DE CARGA	71
FIGURA 10 - DIAGRAMA DAS ALTERAÇÕES DAS TENSÕES NO INTERIOR DO CORPO DE PROVA NO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA.	72
FIGURA 11- MAPA DE LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA REGIÃO DE COLETA DAS AMOSTRAS.	92
FIGURA 12 - LOCALIZAÇÃO GEOGRAFICA DO DISTRITO FLORESTAL DE MOQUÉM E SUA REGIÃO BIOCLIMÁTICA.	93
FIGURA 13 - ESQUEMA DE COLETA DE DISCOS AO LONGO DO FUSTE DAS	

ÁRVORES SELECIONADAS, E DAS TORAS PARA O ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA MECÂNICA.	97
FIGURA 14 - VISTA PARCIAL DA ÁREA DE COLETA DO MATERIAL	98
FIGURA 15 - VISTA PARCIAL DO TALHÃO DE <i>Pinus maximinoi</i> .	99
FIGURA 16 – SELEÇÃO DAS AMOSTRAS DE <i>Pinus maximinoi</i> .	99
FIGURA 17 - MATERIAL BOTÂNICO DA COPA DE ÁRVORE SELECIONADA	100
FIGURA 18 - VISTA PARCIAL DO TALHÃO DE <i>Pinus taeda</i> ,	100
FIGURA 19 - SELEÇÃO DE AMOSTRA DE <i>Pinus taeda</i> ,	101
FIGURA 20 - VISTA GERAL DOS TRONCOS DAS ÁRVORES SELECIONADAS	101
FIGURA 21 - RETIRADA DOS DISCOS DE MADEIRA AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES SELECIONADAS	102
FIGURA 22 - CORPO DE PROVA PARA DETERMINAÇÃO DA RETRATIBILIDADE DA MADEIRA, DE ACORDO COM A NORMA COPANT 462	110
FIGURA 23 - CORPO DE PROVA PARA O TESTE DE FLEXÃO ESTÁTICA.	112
FIGURA 24 - EXEMPLO DE GRÁFICO CARGA-DEFORMAÇÃO DETERMINADO EM ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DE CORPO DE PROVA DA MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus taeda</i> .	115
FIGURA 25 - CORPO DE PROVA PARA O TESTE DE CISALHAMENTO SEGUNDO A COPANT 463.	116
FIGURA 26 - FOTOMICROGRAFIAS DE CORTES HISTOLÓGICOS DE <i>Pinus maximinoi</i> H.E.Moore	127
FIGURA 27 - FOTOMICROGRAFIAS DE CORTES HISTOLÓGICOS DE <i>Pinus taeda</i> L	128
FIGURA 28 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA ALTURA MÉDIA DOS RAIOS EM MICROMETROS, NAS POSIÇÕES 1 (INTERNA), 2 (MÉDIA) E 3 (EXTERNA) EM RELAÇÃO A DIREÇÃO MEDULA-CASCA, A ALTURA DO DAP (1,30m), NA MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	131
FIGURA 29 - COMPARAÇÃO GRÁFICA DOS DADOS MÉDIOS DOS RAIOS NA MADEIRA JUVENIL A ALTURA DO DAP (1,30m) DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> . ALTURA DOS RAIOS EM NÚMERO DE CÉLULAS E FREQUÊNCIA MÉDIA DOS RAIOS POR mm NAS POSIÇÕES 1 (INTERNA), 2 (MÉDIA) E 3 (EXTERNA) EM RELAÇÃO A DIREÇÃO MEDULA-CASCA	131

- FIGURA 30 - EVOLUÇÃO NO COMPRIMENTO MÉDIO DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* DO SEGUNDO AO OITAVO ANEL ANUAL DE CRESCIMENTO À ALTURA DO DAP (1,30m). 137
- FIGURA 31 - DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* NO SEGUNDO, QUARTO, SEXTO E OITAVO ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO. 139
- FIGURA 32 - DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* NO SEGUNDO, QUARTO, SEXTO E OITAVO ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO. 140
- FIGURA 33 - ESPESSURA DAS PAREDES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* NO SEGUNDO, QUARTO, SEXTO E OITAVO ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO. 140
- FIGURA 34 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA MÉDIA DA MADEIRA JUVENIL NAS ALTURAS RELATIVAS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* 160
- FIGURA 35 - COMPARAÇÃO ENTRE AS PORCENTAGENS DE LENHO TARDIO NAS POSIÇÕES RELATIVAS DAS ÁRVORES AMOSTRADAS ENTRE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*. 164
- FIGURA 36 - REGRESSÕES LINEARES A 95% PROBABILIDADE, ENTRE A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO AO LONGO DO FUSTE PARA AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. 166
- FIGURA 37 - REGRESSÕES LINEARES A 95% PROBABILIDADE, DAS RELAÇÕES ENTRE O DIÂMETRO COM CASCA, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. 168
- FIGURA 38 - REGRESSÕES LINEARES A 95% PROBABILIDADE, DAS RELAÇÕES ENTRE ALTURA, DIÂMETRO COM CASCA, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* 169
- FIGURA 39 - REGRESSÕES LINEARES A 95% DE PROBABILIDADE, ENTRE AS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, CONTRAÇÕES MÁXIMAS VOLUMÉTRICA E LINEARES, COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. 187
- FIGURA 40 - REGRESSÕES LINEARES A 95% DE PROBABILIDADE, ENTRE AS

- PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, CONTRAÇÕES MÁXIMAS VOLUMÉTRICA E LINEARES COM A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. 188
- FIGURA 41 - REGRESSÕES LINEARES A 95% DE PROBABILIDADE, ENTRE AS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12% DE UMIDADE E A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. 189
- FIGURA 42 - REGRESSÕES LINEARES A 95% DE PROBABILIDADE, ENTRE A MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12% DE UMIDADE E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.. 193
- FIGURA 43 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA, DETERMINADOS PARA O LENHO JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. 196
- FIGURA 44 - REGRESSÕES LINEARES, A 95% DE PROBABILIDADE, DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E COM A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* 205
- FIGURA 45 - REGRESSÕES LINEARES, A 95% DE PROBABILIDADE, DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E COM A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus taeda* 206
- FIGURA 46 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, DETERMINADOS PARA O LENHO JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* 211
- FIGURA 47 - REGRESSÕES LINEARES, A 95% DE PROBABILIDADE, DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* 219
- FIGURA 48 - REGRESSÕES LINEARES, A 95% DE PROBABILIDADE, DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus taeda* 220
- FIGURA 49 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA DE CISALHAMENTO TANGENCIAL E RADIAL,

DETERMINADOS PARA O LENHO JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	226
FIGURA 50 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE REGRESSÕES LINEARES A 95% DE CONFIANÇA DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL E RADIAL COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i>	232
FIGURA 51 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE REGRESSÕES LINEARES A 95% DE CONFIANÇA DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL E RADIAL COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus taeda</i> .	233
FIGURA 52 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS DUREZAS MÉDIAS TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL DA MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	237
FIGURA 53 - REGRESSÕES LINEARES, A 95% DE PROBABILIDADE, DAS PROPRIEDADES DE DUREZA, COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus maximinoi</i> .	241
FIGURA 54 - REGRESSÕES LINEARES A 95% DE PROBABILIDADE, DA DUREZA COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE <i>Pinus taeda</i> .	242
FIGURA 55 - ÍNDICE DE RASGO DO PAPEL FEITO A MÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE REFINO DA CELULOSE KRAFT DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i>	250
FIGURA 56 - ÍNDICE DE ESTOURO DO PAPEL FEITO A MÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE REFINO DA CELULOSE KRAFT DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	250
FIGURA 57 - COMPRIMENTO DE AUTO RUPTURA DO PAPEL FEITO A MÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE REFINO DA CELULOSE KRAFT DE <i>Pinus maximinoi</i> E DE <i>Pinus taeda</i> .	251

RESUMO

A madeira juvenil apresenta características bastante peculiares a partir de distintos pontos de vista, tais como o anatômico e de suas propriedades físicas e mecânicas, sendo portanto fundamental o conhecimento de sua qualidade para uma adequada utilização. Neste estudo o objetivo geral foi a obtenção de informações sobre a qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, comparadas às da madeira juvenil de *Pinus taeda*. Para tanto foram determinadas as características anatômicas da madeira e as morfológicas dos traqueóides de lenho inicial e tardio em diferentes anéis anuais de crescimento, as relações de interesse entre as dimensões dos traqueóides para indicação do potencial para a industrialização de celulose e papel, as características das árvores em volume, altura, e porcentagens de casca, e de lenho tardio, bem como as propriedades massas específicas básica e aparente, retratibilidade, as resistências à flexão estática, compressão paralela às fibras, cisalhamento e dureza; também foram determinadas a composição química quantitativa e as características da celulose *Kraft*, obtida em laboratório para número *Kappa* 31, através das resistências ao rasgo, estouro e tração, e da densidade aparente de folhas de papel feitas a mão, com diferentes graus de refinação. A madeira para o estudo foi proveniente de plantios localizados na região de Ventania, Estado do Paraná, em área da PISA - Papel de Imprensa S.A., em altitude entre 800 e 900 m. As árvores amostradas de *Pinus maximinoi* foram de experimentos de progênies (Programa CAMCORE), e as de *Pinus taeda* de plantio comercial, em talhão contíguo. Os resultados médios obtidos para *P. maximinoi*, e *P. taeda*, para as diferentes características e propriedades foram: a descrição anatômica mostrou similaridade na madeira, mas com diferença significativa na frequência de raios por milímetro, menor em *P. maximinoi*, e transição mais gradual entre os lenhos inicial e tardio nos anéis anuais de crescimento. As características morfológicas médias dos traqueóides foram também em maioria significativamente diferentes entre as duas espécies: os de *P. maximinoi* mais longos e mais largos, os de lenho inicial de paredes celulares mais espessas que os de *P. taeda*, os traqueóides de lenho tardio com espessura semelhante entre as espécies como também foram semelhantes os diâmetros internos dos de lenho inicial. As relações entre as dimensões das fibras, indicam maior flexibilidade dos traqueóides de *P. maximinoi*. As características determinadas para as árvores das duas espécies mostram significativa diferença em volumes e alturas total e comercial para *P. maximinoi* (50,7% superiores em altura total e 35,4% em volume total), que apresentou também, maior porcentagem de casca. A massa específica média ponderada das árvores não se mostrou estatisticamente diferente, porém a porcentagem de lenho tardio foi notadamente inferior na madeira de *P. maximinoi*. Ao longo do fuste ambas as espécies apresentam a tendência de decréscimo da massa específica e porcentagem de lenho tardio com a altura, porém em *P. maximinoi*, com decréscimo mais gradual. A massa específica aparente determinada nos corpos-de-prova foram semelhantes estatisticamente no ensaio de flexão estática, enquanto que nos ensaios restantes, ela foi estatisticamente inferior na madeira de *P. maximinoi*. A porcentagem de lenho tardio foi sempre inferior nos corpos-de-prova de *P. maximinoi*. A massa específica aparente se correlaciona fortemente com as propriedades de resistência em *P. maximinoi*, enquanto a porcentagem de lenho tardio apresenta baixas correlações, embora estatisticamente significativas; em *P. taeda*, a correlação entre a massa

específica e a porcentagem de lenho tardio foi alta, e conseqüentemente ambas se correlacionaram de maneira forte com as propriedades mecânicas, mais acentuadamente a massa específica. As contrações máximas volumétrica, tangencial e radial foram significativamente inferiores na madeira de *P. maximinoi*, enquanto a longitudinal e a anisotropia de contração foram superiores. Nas propriedades de resistência mecânica, a madeira de *P. maximinoi* apresentou resistências significativamente maiores em flexão estática (MOR e MOE) e em cisalhamento tangencial, resistências significativamente inferiores em dureza nos três sentidos de corte, e a 95% de probabilidade no MOR à compressão paralela, enquanto não se verificou diferenças estatísticas no módulo de elasticidade em compressão paralela e em cisalhamento radial. De forma geral, observou-se maior variabilidade para os resultados de *P. maximinoi*, com exceção da dureza, provavelmente porque as faixas de lenho tardio de *P. taeda* provocaram maior variação. A composição química quantitativa não mostrou diferenças significativas para os teores de lignina, holocelulose e solubilidade em água fria, mas o *P. maximinoi* apresentou maiores teores de extrativos totais e menor teor de cinzas. Os rendimentos em celulose obtidos em laboratório para o processo *Kraft* foram semelhantes, e pouco superiores a 45%, sendo a média geral entre as propriedades do papel feito a mão estatisticamente semelhantes, porém o efeito dos tratamentos de refinação indicaram diferenças significativas em algumas propriedades, sendo que de forma geral as propriedades de estouro e tração evoluíram melhor na celulose de *P. maximinoi*, enquanto que a do rasgo foi ligeiramente inferior a celulose de *P. taeda*. De maneira geral os resultados apresentam-se similares aos apresentados na literatura para a madeira juvenil, porém inferiores à maioria dos verificados para a madeira adulta. Entre as duas espécies verificaram-se diferenças notáveis em relação à altura e volumes calculados, bem como na porcentagem de lenho tardio, características médias dos traqueóides, retratibilidade e em algumas propriedades mecânicas, embora aspectos similares também estejam presentes em algumas características e propriedades, notadamente na massa específica básica média ponderada das árvores, concluindo-se que a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* é mais homogênea que a de *P. taeda*, apresentou maior variabilidade entre as árvores amostradas, e que no conjunto tem grande potencial de utilização, em algumas aplicações específicas com vantagens sobre a madeira de *P. taeda*, em função da sua maior homogeneidade.

ABSTRACT

The juvenile wood has peculiar characteristics from various points of view, like anatomical properties, physical and mechanical properties, considering these aspects the knowledge of the wood quality is important for the adequate utilization of wood. In this study, the major objective is to obtain informations about the quality of juvenile wood from *Pinus maximinoi*, and compare it to *Pinus taeda*. To get it, the wood anatomical characteristics, tracheids morphological characteristics from early and latewood from different growth rings, relationship between tracheids dimensions were calculated; trees characteristics, total and commercial height and volume, bark percentage, the wood physical properties, shrinkage properties, strength properties: static bending, compression parallel to grain, shear and hardness; chemical quantitative composition and fibers quality from *Kraft* pulping at *Kappa* number 31, hand made sheets properties in tear, burst and tensile strength and sheets density were determined. Correlation between shrinkage properties and strength properties with wood density and latewood percentage were obtained. The null hypothesis H_0 was tested for all properties between the two species. The study material was sampled from 15 trees of each specie, for mechanical properties five extra trees for specie were taken, with 11 years old, planted in Ventania municipality, in Paraná State. Both species from PISA - Papel de Imprensa S.A, planted at 800 to 900 m from sea level, being *Pinus maximinoi* from provenance trials (CAMCORE Program), and *Pinus taeda* from commercial plantation, growing in adjacent area. For wood density study, anatomical and chemical studies and pulping, the material were collected in stem at relative heights, 0%, 25%, 50%, 75%, 100% and BHD (1,30 m), for mechanical and shrinkage properties a 2,5 m pole were collected above BHD and sawn to get small clear specimens for testing in air dry conditions. Properties were obtained according to COPANT, ABNT, ABTCP/IPT and TAPPI Test Methods. The average results in anatomical characteristics showed that *P. maximinoi* juvenile wood has significant difference in rays frequency for millimeters, and a more gradual transition between early to latewood in annual rings. The average tracheids morphological dimensions are statistically higher for *P. maximinoi*, either in length and diameter, cell wall thickness from earlywood tracheids were higher than *P. taeda*. Relationships between fibre dimensions showed that *P. maximinoi* tracheids were more flexible than *P. taeda* tracheids. Tree characteristics, total and commercial height and volume, are notably higher to *P. maximinoi* trees, bark percentage was higher, also. Trees mean balanced density between species showed no statistically difference, but *P. maximinoi* juvenile wood has notably less latewood percentage. The two species showed the general trends for the genus, a decrease of density and latewood percentage in relation to stem height, in *P. maximinoi* the decrease is more gradual. The volumetric, tangential and radial shrinkage from green to oven-dry moisture content were significantly lower in *P. maximinoi*, longitudinal shrinkage and the rate tangential/radial shrinkage were higher. The coefficients of moisture expansion were similar. *P. maximinoi* juvenile wood showed higher Modulus of Rupture and Modulus of Elasticity in Static Bending, and in tangential Shear Strength, lower average values for Hardness in all directions, with 99% confidence level, the Modulus of Rupture in Compression parallel to grain was lower, at 95% confidence level, and the Modulus of Elasticity showed no

difference, the same for radial Shear Strength. The air dry density in the static bending clear specimens showed no differences between species, but for all others strength properties the density of the clear specimens were statistically lower for *P. maximinoi*. The latewood percentage was always lower in *P. maximinoi* specimens. The correlation between wood density and Strength properties were all significant and higher for both species, in *P. maximinoi* the correlations between density and latewood was significant but lower, the same trend occurs to the relations between the Strength properties and latewood; in *P. taeda* high positive correlation was found between density and latewood percentage, and the last showed high correlation with the Strength properties, slightly lower than for density. In general all results showed higher variability for *P. maximinoi*, except for Hardness, probably due the large bands of latewood present in the specimens. The chemical quantitative composition showed no differences for lignin content, holocellulose content and wood solubility in cold water, between species, *P. maximinoi* showed higher total extractives content and lower ashes content. Pulp yielding in Kraft pulping was slightly higher than 45% for both species, without statistic difference, average Tear Index, Burst Index and Breaking Length, showed no statistic difference between species, but considering beating treatments, differences appear in Burst Index and Breaking Length, *P. maximinoi* pulp showed a better evolution with increasing beating times, the Tear index decrease with beating, and *P. taeda* pulp showed slightly higher values, but only at 40 minutes of beating was a significant difference. In general point of view for all results obtained in this study were similar for juvenile wood results of *Pinus* spp, found in literature, but lower compared to mature wood. Between the two species notably differences were found in trees height, volume, and latewood percentage statistically differences for shrinkage properties, tracheids dimensions and in some Strength properties, although there were similarities in some properties and characteristics, like in tree average density between species, with all presented results, it can be concluded that *P. maximinoi* has a more homogeneous wood, higher variability among trees, showing a high potential for utilization, in some uses with advantage in relation to it lower latewood percentage.

1. INTRODUÇÃO

O início da atividade de reflorestamento em grande escala no Brasil deu-se após o evento dos incentivos fiscais em 1966. Na Região Sul do País a opção foi para o gênero *Pinus*, com duas espécies principais: *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Pinus taeda*. O objetivo inicial foi criar uma base florestal em substituição ao tradicional Pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*), então intensamente explorado e com suas reservas naturais comprometidas, para dar suporte ao programa de desenvolvimento do setor de celulose e papel na produção de polpas de fibras longas, fundamentais para papéis de alta resistência.

Apesar dos reflorestamentos terem por finalidade a produção de celulose e papel, a indústria de transformação mecânica do sul do País, pela escassez do Pinho e menor custo da madeira de *Pinus* spp., iniciou o processo de utilização da madeira de reflorestamentos na produção de serrados e lâminas, já a partir da década de 70, mesmo com a grande expansão do setor papelero de fibras longas no período.

A utilização da madeira de *Pinus* spp. nesses setores industriais cresceu nas duas décadas seguintes, à medida que as reservas naturais da região se esgotaram ou eram incluídas como áreas de preservação permanente. Com o aumento da demanda e pela oferta da madeira de *Pinus* spp. a custos relativamente baixos, esta passou a ser a matéria-prima mais importante no Sul, porém conceitos negativos sobre a qualidade dessas madeiras foram gerados, e persistem até hoje, em decorrência do desconhecimento da qualidade da madeira e da tecnologia adequada ao processamento de *Pinus* spp., bem como do desconhecimento de técnicas adequadas de manejo, para conduzir a floresta no sentido de obter madeira com qualidade satisfatória.

Mesmo assim avanços significativos ocorreram, e a madeira de *Pinus* spp. está definitivamente incorporada ao setor industrial madeireiro do Sul do País, bem como na vida do consumidor de produtos de madeira.

Em todos os setores industriais madeireiros a participação da madeira de *Pinus* spp. proporciona que sejam fabricados inumeráveis produtos que são fabricados para o mercado interno e para exportação, como no setor de madeira serrada, na crescente produção de laminados e compensados, na indústria de aglomerados, na fabricação de móveis, em construção civil, madeira preservada para usos externos, casas pré-fabricadas, portas,

molduras, blocos de madeira limpa para exportação e outros tantos produtos de madeira, além das tecnologias que ora estão sendo implantadas no País, como os painéis de fibras de média densidade (*MDF*) e os painéis estruturais de partículas orientadas (*OSB*), para os quais a madeira de *Pinus* spp. é matéria prima essencial.

TOMASELLI & SCHEFFER (1999), por exemplo, relatam que a exportação de compensados de madeira de *Pinus* spp., vem crescendo significativamente e adquirindo importância no mercado internacional, sendo que as exportações brasileiras em 1999 chegaram próximo a 800 mil metros cúbicos, bem superior ao volume projetado para o compensado tropical, sendo que os volumes deverão continuar crescendo, existindo no entanto, limitação no suprimento de toras dos reflorestamentos de *Pinus* spp.

Além desses aspectos, a madeira de *Pinus* spp. é essencial ao setor de celulose e papel de fibra longa, que participou com 25,65% da produção nacional de 7,2 milhões de toneladas em 1999; e que apresentou até agosto de 2000 crescimento de 5,7% em relação ao mesmo período de 1999 (BRACELPA 2000). A expansão do setor prevê aumento na produção de pastas mecânicas e celulose *Kraft* de fibras longas durante a próxima década.

Constata-se também a preocupação na utilização dos resíduos gerados da madeira, como energia ou ainda para outros fins, como por exemplo a farinha de madeira utilizada na produção de solas para sapatos.

Trata-se, sem sombra de dúvida, de uma matéria prima especialmente importante para o desenvolvimento sócio-econômico da Região Sul.

Segundo AHRENS (1998), o setor florestal brasileiro atravessa uma fase de transição, caracterizada pelas iniciativas de estabelecimento da segunda rotação das florestas de *Pinus* spp., na grande maioria com espécies do mesmo gênero; juntamente com o reconhecimento generalizado que existe sobre a necessidade de se aprimorar as práticas do manejo florestal e de silvicultura, para que seja possível produzir madeira de *Pinus* spp. na quantidade e qualidade requeridas pelas indústrias de base florestal, sendo esta uma importante constatação na história contemporânea do setor florestal.

Perspectivas otimistas para o setor florestal e madeireiro nos próximos anos se consolidam com o Plano Nacional de Florestas (PNF), que tem por objetivos, entre outros aspectos, evitar o déficit da madeira reflorestada e expandir a base florestal plantada.

Apesar dos aspectos anteriormente mencionados e do grande potencial da madeira de *Pinus* spp., relativamente poucos estudos foram conduzidos em relação à qualidade da

madeira das principais espécies plantadas no Brasil, embora haja uma intensificação no interesse do setor industrial madeireiro, e mesmo do setor de celulose e papel, em estabelecer os parâmetros de qualidade da madeira de *Pinus* spp. para os diferentes processamentos. Entre os trabalhos mais recentemente realizados citam-se a avaliação de algumas propriedades da madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, realizados por TOMASELLI (1980); estudos sobre secagem de *Pinus elliottii*, conduzidos por SANTINI (1980), TOMASELLI (1981), SEVERO (1989) e PEREIRA (1992), estudos sobre chapa de composição efetuados por BRITO (1984), MEDINA (1986), LARA PALMA (1986), KEINERT (1988), MATOS (1988), IWAKIRI (1989) e ALBERTO (1992); estudos sobre a qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, por KLOCK (1989), qualidade da madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* por MUÑIZ (1993), LARA PALMA (1994), LUCAS FILHO (1997), SANTINI et al. (2000); de indicações de uso na construção civil de 6 espécies do gênero, por BORTOLETTO JÚNIOR (1993); sobre classificação da madeira de *Pinus taeda*, por MATSUNAGA (1995); produção de painéis estruturais laminados de *Pinus taeda*, por MATOS (1997); da qualidade da madeira de *Pinus taeda* atingida por incêndio florestal, por BORTOLETTO JÚNIOR (1999).

Constatado o potencial crescente da madeira de *Pinus* spp., a necessidade do aprofundamento nos conhecimentos sobre a qualidade da madeira, e o resultado observado da espécie *Pinus maximinoi*, ainda desconhecida no mercado madeireiro, plantada em testes de progênes com notável desenvolvimento, vigor e forma em apenas 11 anos; torna-se importante e oportuno obter-se mais informações sobre a qualidade e variabilidade da madeira produzida pela espécie, visando-se subsidiar as decisões de seleção e melhoramento genético, que aliados a técnicas silviculturais, poderão definir as características tecnológicas desejáveis para a madeira. A madeira juvenil de *Pinus* spp. apresenta características bastante peculiares a partir de distintos pontos de vista, tais como o anatômico, de suas propriedades físicas e mecânicas.

Considerando-se que a proporção de madeira juvenil nas árvores de coníferas, oriundas de florestas de rápido crescimento e de curta rotação, é consideravelmente alta, torna-se fundamental o conhecimento das propriedades para a sua utilização de forma adequada. Em razão destes aspectos, definiu-se o objetivo geral do estudo na caracterização da qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, comparada à madeira juvenil de *Pinus taeda* L., cobrindo seus aspectos anatômicos bem como das propriedades

físicas e propriedades de resistência mecânica, da composição química quantitativa e das propriedades das fibras para a industrialização de celulose e papel; cujas informações são básicas na definição do uso final da madeira e para avaliar o potencial comercial e industrial da espécie.

2. OBJETIVOS

Caracterizada a importância do conhecimento da madeira juvenil de espécies de rápido crescimento, e a falta de informações básicas sobre as características, propriedades e variabilidade da madeira de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, estabeleceu-se como objetivo geral desta pesquisa:

- Determinar parâmetros de qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* de testes de progênies, de árvores com 11 anos de idade, plantadas em área da PISA S.A, na região de Ventania-PR.

Para se atingir o objetivo geral proposto, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Caracterizar a madeira de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda* segundo seus aspectos anatômicos;
- Determinar as características morfológicas dos traqueóides axiais e as relações existentes entre as suas dimensões;
- Determinar as propriedades físicas da madeira juvenil: massa específica básica da madeira; massa específica aparente a 12% de umidade; porcentagem de lenho tardio e a retratibilidade da madeira;
- Determinar as propriedades de resistência mecânicas da madeira juvenil, quais sejam: Resistência a flexão estática; Resistência à compressão paralela às fibras; Resistência ao cisalhamento; e, Dureza;
- Determinar a composição química quantitativa da madeira juvenil;
- Avaliar a celulose *kraft* obtida em laboratório a partir da madeira juvenil, por ensaios físicos e mecânicos do papel confeccionado a mão;
- Determinar as possíveis correlações existentes entre as características e propriedades da madeira juvenil, com a massa específica e a porcentagem de lenho tardio;
- Comparar as características e as propriedades da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* com as de *Pinus taeda*.

3. JUSTIFICATIVA

O presente estudo visa obter informações sobre a qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, por serem de grande valor tecnológico, em virtude desta espécie ser desconhecida no Brasil.

Durante 11 anos de acompanhamento, a Empresa responsável observou um vigoroso crescimento em altura e diâmetro de várias famílias do teste de progênes da espécie, com boa forma do tronco e distâncias internodais superiores às de outras espécies do gênero. Além destes aspectos, o início da frutificação em árvores de *Pinus maximinoi*, com produção de sementes viáveis, justifica o estudo da madeira produzida. As características no conjunto, consideradas excepcionais quando comparadas aos plantios comerciais de espécies do gênero *Pinus* como *P. taeda*, *P. caribaea*, e *P. oocarpa*, de mesma idade, e no mesmo sítio, indicam grande potencial comercial da espécie.

Considerando-se também, que estimativas realizadas por instituições e órgãos governamentais prevêem uma escassez de madeira na próxima década, pelo avanço na demanda de madeira no Brasil, juntamente com a tendência do crescimento das exportações de madeira e produtos de madeira de *Pinus* spp., há necessidade de se avançar na silvicultura de outras espécies exóticas promissoras além das já tradicionalmente plantadas, principalmente coníferas, que pelas características da madeira sempre terão mercado cativo, seja no mercado nacional ou internacional, ou suprimindo a indústria de celulose e papel com fibras longas de boa qualidade.

Uma espécie de rápido crescimento é economicamente desejável. Sabe-se, entretanto, que para a adequada utilização da madeira, e mesmo para a aplicação correta do manejo florestal, a obtenção de informações sobre a qualidade da madeira de uma espécie promissora são fundamentais. Por tal razão, as informações a serem levantadas poderão vir a subsidiar decisões importantes a respeito de seleção genética e técnicas silviculturais adequadas, evitando-se os erros do passado ainda recente.

Pelas observações apresentadas, justifica-se o estudo da qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, por propor-se a produzir mais informações, originais e relevantes, especialmente porque serão necessárias para subsidiar cientificamente as tomadas de decisão sobre a espécie *Pinus maximinoi*.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. ESPÉCIES ESTUDADAS

4.1.1. *Pinus maximinoi* H.E.Moore

Pinus maximinoi H.E.Moore, ocorre do México central à Nicarágua entre 700 e 2400 m de altitude. Em elevações mais altas, a espécie é encontrada em sítios úmidos com solos profundos, férteis em associação com *Pinus tecunumanii*, *Liquidambar styraciflua* e num menor grau com *Pinus oocarpa*. A altitudes mais baixas, particularmente no México, *Pinus maximinoi* pode ocorrer em solos mais pobres, rasos, com maior porcentagem de *Pinus oocarpa* e com *Pinus michoacana*. Resultados de experimentos internacionais de introdução de espécies indicam que a espécie tem potencial nos sítios em que tem sido plantado *Pinus elliottii* na África do Sul, *Pinus oocarpa* e *Pinus patula* na América do Sul. Ao mesmo tempo, populações de *Pinus maximinoi* estão sob severa pressão na América Central e México por pequenos produtores de café e serrarias, particularmente na província de Chiapas no México, nordeste da Guatemala e Nicarágua (DVORAK & DONAHUE, 1988).

4.1.1.1 Taxonomia

Segundo DVORAK & DONAHUE (1988), *Pinus maximinoi* é um pinheiro com cinco acículas, conhecido como "Pino candelillo" na Guatemala, "Pino llorón", "Pino corriente" ou "Pinabete" em Honduras e "Pino canis" no México. Foi primeiramente identificado por Benthem em 1842, e denominado de *Pinus tenuifolia* Benth. Do início do século até o final da década de 70, taxonomistas florestais debateram se o *Pinus tenuifolia* Benth. era uma espécie distinta do *Pinus pseudostrobus* Lindl. MITTAK & PERRY (1979), publicaram os resultados de um estudo taxonômico, baseado no exame dos elementos morfológicos e análise de resina coletadas de amostras tomadas no México, Guatemala, Honduras e El Salvador, e conclusivamente estabeleceram que *Pinus tenuifolia* Benth. era uma espécie diferente de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

O nome *Pinus maximinoi* H. E. Moore, foi adotado para o *Pinus tenuifolia* Benth. porque a descrição *Pinus tenuifolia* havia sido usada por Salisbury em 1776 para outra espécie

de pinho (MITTAK & PERRY, 1979). Segundo DVORAK & DONAHUE (1988), Stead (1983) também conduziu um estudo taxonômico com o grupo de *Pinus pseudostrobus* usando uma abordagem estatística, e chegando à mesma conclusão de Mittak & Perry; *Pinus maximinoi* merecia ser destacado como espécie.

A confusão associada com o grupo de *Pinus pseudostrobus*, incluindo *Pinus maximinoi*, ainda continua entre muitos silvicultores e madeireiros nos trópicos e sub trópicos. Algumas organizações florestais tem sido relutantes em aceitar *Pinus maximinoi* como espécie, devido a sua longa história de ser dubiamente distinta de *Pinus pseudostrobus*, e o insucesso de plantios de *Pinus pseudostrobus* em sítios abaixo de 1500 m de altitude. DVORAK & DONAHUE (1988), citando Mittak & Perry (1979), relatam que, distingui-se *Pinus pseudostrobus* como espécie de alta altitude (1500 a 3000 m) e *Pinus maximinoi* de média altitude (700 - 2400 m).

4.1.1.2 Distribuição natural da espécie

Segundo MITTAK & PERRY (1979), a distribuição geográfica natural de *Pinus maximinoi* compreende cerca de 2250 km, de Sinaloa, México, ao norte da Nicarágua em uma série de populações intermitentes. Outros taxonomistas florestais acreditam que sua distribuição ao norte do México termina nos Estados de Michoacan e Jalisco, (SEAD & STYLES, 1984). É uma das espécies mais comuns do gênero *Pinus* na região, sendo reconhecida em doze estados mexicanos e em inúmeras províncias da Guatemala, Honduras, El Salvador e Nicarágua. Os sítios onde se encontra *Pinus maximinoi*, variam em elevação, de 700 m a 2400 m, são porém mais comuns entre 1100 a 1800 m de altitude, (DVORAK & DONAHUE, 1988).

Pinus maximinoi é geralmente encontrado em solos argilosos profundos que apresentam boa capacidade de retenção de água, em áreas que recebem mais de 1200 mm de chuva por ano (DVORAK & DONAHUE, 1988). Entretanto, os mesmos autores afirmam que em explorações do Programa CAMCORE (Central America and Mexico Coniferous Resources), populações de *Pinus maximinoi* também ocorrem em solos rasos, erodidos em áreas com estações secas pronunciadas. Desta forma, é certo que existem procedências tolerantes a estações secas, que poderiam ser desenvolvidas através de seleção e testes.

Ao contrário do verdadeiro *Pinus pseudostrobus*, *Pinus maximinoi* não suporta temperaturas baixas prolongadas. Quando a árvore é sujeita a geadas leves em ambientes exóticos, os ramos apicais e terminais secam causando o desenvolvimento de galhos e tronco deformados. Geadas severas causam a morte da árvore.

Em média, nas populações de *Pinus maximinoi* no México e América Central, as árvores têm entre 20 e 30 m de altura e diâmetros entre 35 e 50 cm. A espécie atinge seu melhor desenvolvimento na região de San Lorenzo (2100 m) na serra de Las Minas a leste da Guatemala, onde são encontrados espécimes com 60 anos apresentando 40 m de altura e 1 m de diâmetro. Árvores com 1 m de diâmetro também tem sido encontradas em associação com *Pinus chiapensis*, de igual idade no estado de Oaxaca, México. O incremento médio anual em altura é de 0,71 m e em diâmetro é de 1,5 cm na idade de 30 anos em duas áreas, Oaxaca e Guerrero, no México (DVORAK & DONAHUE, 1988).

4.1.1.3 Desenvolvimento de *Pinus maximinoi* em plantações piloto e testes de progênies

Resultados da performance de 6 procedências com 5 anos de idade, estabelecidas em solos vulcânicos a 2500 m de altitude na Colômbia, mostraram que populações provenientes de Honduras e Nicarágua, apresentaram desenvolvimento equivalente a plantações comerciais de *Pinus patula*, de acordo com Ladrach (1984), citado por DVORAK & DONAHUE (1988).

A taxa de crescimento de *Pinus maximinoi* de procedência hondurenha na África do Sul é equivalente a testes de *Pinus patula* e superior a *Pinus elliottii*, em primeira geração de material de sementes selecionadas, com 4 anos de idade, de acordo com Kietzka (1987), citado por DVORAK & DONAHUE (1988). Os mesmos autores citando Pires et al. (1987), comentam que no Brasil, a procedência de Cofradia foi a que apresentou melhor resultado, com média de 9,8 m de altura aos oito anos de idade em Campos do Jordão, estado de São Paulo (22° de latitude Sul, a 1630 m de altitude).

4.1.1.4 Ecologia

De acordo com DVORAK & DONAHUE (1988), foram observados nas áreas de coletas de sementes do Programa CAMCORE, 23 no total, que em um sítio típico (1100 a 1800 m de altitude), *Pinus maximinoi* cresce em associação com *Pinus oocarpa* Schiede, as espécies subdominantes são do gênero *Quercus*.

Liquidambar styraciflua L., uma espécie indicadora de solo moderadamente fértil, foi encontrado em aproximadamente 30% das áreas de coleta. Das áreas amostradas, 13% eram de populações puras, 57% com predominância de *Pinus maximinoi* com alguns *Pinus oocarpa*, 26% com igual mistura de *Pinus maximinoi* e *Pinus oocarpa*, e 4% com *Pinus maximinoi* e outras espécies de *Pinus* que não *Pinus oocarpa*, (*Pinus tecunumanii*, *Pinus chiapensis*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus michoacana* e *Pinus pseudostrobus*).

Geralmente, quanto maior a incidência de *Pinus oocarpa* e *Pinus michoacana* coabitando uma área com *Pinus maximinoi*, a qualidade do solo é mais pobre. Nos solos mais férteis é encontrado em associação com *Pinus chiapensis*, e nesses casos, na maioria *Pinus chiapensis* é a espécie predominante. Em alguns sítios em Honduras, em elevação de 1800 m cresce em associação com *Abies guatemaltensis*.

4.1.1.5 Qualidade da madeira de *Pinus maximinoi*

Poucas informações são encontradas a respeito da qualidade da madeira de *Pinus maximinoi* crescendo no seu ambiente nativo e, mais raras ainda, nas plantações exóticas; entretanto DVORAK & DONAHUE (1988), citam algumas informações a respeito da massa específica da madeira. De acordo com estes autores, Dvorak (1982), obteve massa específica de 430 kg.m⁻³ para madeira juvenil (15 primeiros anéis de crescimento) e de 490 kg.m⁻³ para a madeira adulta, (valores médios sem extração de resina e não balanceados) determinados para baguetas extraídas com trados de *Pressler* de 12 mm, de 59 árvores de 3 procedências, sendo a variação entre procedências pequena, mas entre árvores considerável.

LADRACH (1985), obteve para árvores com oito anos de idade plantadas na Colômbia, em regiões com 1750 m de altitude, valores médios de 390 kg.m⁻³ para a massa específica. Sendo esta uma das poucas informações que se dispõe da madeira de *Pinus maximinoi* como espécie exótica, talvez pela confusão taxonômica que ainda persiste entre o verdadeiro *Pinus pseudostrobus* e *Pinus maximinoi*. DVORAK & DONAHUE (1988), sugerem que a qualidade da madeira de ambas as espécies é provavelmente similar em ambientes exóticos, entretanto,

o *Pinus maximinoi* com sua ramificação mais fina, possui provavelmente menos madeira de compressão e menos nós que a madeira de *Pinus pseudostrobus*, que apresenta galhos grossos e pesados, sendo que esta característica poderia resultar em melhor rendimento em celulose e melhor qualidade da madeira serrada.

WRIGHT & MALAN (1991), em estudo com 10 árvores de *Pinus maximinoi* de 10,5 anos de idade, com características dominantes, oriundas de teste de progênes na África do Sul, determinaram porcentagens de lenho tardio baixas para a espécie, com variação entre árvores na faixa 1,4 a 7,8 %, com média de 4,5%. As características dos traqueóides, como a espessura das paredes, foram determinadas e os autores obtiveram média de 7,16 μm para a espessura dupla da parede celular, diâmetro radial médio do lume de 31 μm e diâmetro tangencial de 28 μm . As medições foram realizadas em faixas radiais de amostras à altura de 1,40 m do solo (DAP), nos anéis anuais de crescimento 1, 4 e 7, onde foram verificadas diferenças estatísticas significativas entre os anéis de crescimento.

WRIGHT & WESSELS (1992), em complementação ao estudo de WRIGHT & MALAN (1991), apresentaram o volume médio das árvores de *Pinus maximinoi* utilizadas, que foi de 0,153 m^3 , a massa específica aparente média de 456 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, variou de 399 a 505 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

No estudo, rendimentos médios em celulose de 45%, foram obtidos em laboratório pelo processo *Kraft* e as propriedades do papel foram relativamente baixas em rasgo, mas com características satisfatórias. Os autores concluíram que *Pinus maximinoi* apresentou potencial como matéria-prima para celulose quando comparado a outras espécies de *Pinus* spp., como *Pinus pseudostrobus* e *Pinus patula*, embora apresentando menor índice de rasgo.

WRIGHT & BAYLIS (1993), utilizando madeira de *Pinus maximinoi* coletada em dois testes de progênes da África do Sul, de 5 árvores com características dominantes de 11 anos de idade, obtiveram resultados similares entre os testes de progênes, com valores médios de rendimento em celulose de 42,3%. Para o papel feito a mão, sem tratamento de refinação, obtiveram para o comprimento de auto ruptura 6,16 km, índice de estouro de 4,2 $\text{kPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ e índice de rasgo de 12,8 $\text{mN}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$, considerando os resultados satisfatórios.

WRIGHT et al. (1996), em novo estudo com espécies tropicais do gênero *Pinus*, entre as quais *Pinus maximinoi*, amostraram 30 árvores com 8 anos de idade, livres de defeitos como bifurcações, tortuosidades e lenho de reação plantadas na Colômbia, e obtiveram celulose *Kraft* em laboratório com cavacos obtidos das toras de 2,4 m a partir de 1,5 m do

solo. Os cozimentos experimentais foram conduzidos com fator H fixo e igual a 1000, sulfidez de 30%, relação licor:madeira de 4:1, variando o álcali-ativo para atingir números $Kappa$ de 28 - 38 e 50. Os resultados obtidos para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* variaram em rendimento bruto, entre aproximadamente 50%, para número $Kappa$ de 50, a 47% para os números $Kappa$ de 38 e 28. Os índices de estouro e de rasgo apresentaram variação similar para os diferentes números $Kappa$, de 3 a 8 kPa.m².g⁻¹, e de 18 a 10 mN.m².g⁻¹, para o rasgo, sendo o primeiro valor referente ao tratamento sem refinação. A resistência a tração foi determinada pela Absorção de Energia de Tensão (TEA), para a qual ocorreram diferenças entre as celulose obtidas, sendo que os melhores resultados obtidos foram para as celuloses de números $Kappa$ 38 e 50, que variaram entre 35 a 150 J.m⁻².

Os autores concluíram que a celulose de *Pinus maximinoi* apresenta resistências satisfatórias e, na expectativa que o aumento da idade incremente as resistências, recomendaram a espécie para plantio em larga escala na Colômbia.

O CENTRO TÉCNICO DE EVALUACIÓN FORESTAL (1972), estudou espécies tropicais do gênero *Pinus* da Guatemala, entre as quais *Pinus maximinoi* (ex *Pinus tenuifolia*), apresenta a descrição das características microscópicas da madeira de 5 árvores com idade entre 28 e 34 anos, massa específica aparente de 450 kg.m⁻³, apresenta também propriedades de retração, e de resistências mecânicas, estas porém realizadas no estado saturado. Os resultados determinados para a madeira de *Pinus maximinoi* localizaram-se na faixa média entre as espécies estudadas.

4.1.2 *Pinus taeda* L.

O gênero *Pinus* é composto por cerca de 100 espécies nativas de regiões temperadas e tropicais do mundo. A madeira das espécies de *Pinus* podem ser separadas macroscopicamente entre os seguintes grupos: branco, vermelho e amarelo (USDA FOREST SERVICE, 2000).

Pinus taeda é uma das espécies do Sul do Estados Unidos e o nome “taeda” refere-se a palavra ancestral que denominava os pinheiros resinosos.

Os nomes comuns pelos quais *Pinus taeda* é conhecido nos Estados Unidos da América e em outros países são listados a seguir: “bastard pine, black pine, black slash pine, bog pine, buckskin pine, bull pine, Carolina pine, cornstalk pine, foxtail pine, frankincense

pine, heart pine, Indian pine, kienbaum, lobby pine, loblolly pine, longleaf pine, longschap pine, longschat pine, longshucks, longshucks pine, longstraw pine, maiden pine, meadow pine, North Carolina pine, old pine, oldfield pine, pin a l'encens, pin taeda, pinho-teda, pino de incienso, pino dell'incenso, prop pine, Rosemary pine, sap pine, shortleaf pine, shortstraw pine, slash black pine, slash pine, soderns gul-tall, southern pine, southern yellow pine, spruce pine, swamp pine, sydstaternas gul-tall, taeda pine, taeda-pijn, torch pine, Virginia pine, Virginia sap pine, yellow pine”.

Distribuição natural da espécie: *Pinus taeda* é nativo do sul dos Estados Unidos da América e se distribui desde o sul dos Estados de Nova Jersey e Delaware, para o sul até a região central do Estado da Flórida, ao oeste até o leste do Estado do Texas, e no vale do Rio Mississippi ao extremo sudeste de Oklahoma, Arkansas central e sul do Estado do Tennessee.

Característica da árvore no ambiente nativo: as árvores de *Pinus taeda* chegam a atingir cerca de 45 m de altura, com diâmetros aproximados de 1,30 m; a mais alta árvore que se teve notícia, tinha altura de 54 m com 1,42 m de diâmetro.

Características gerais da madeira de árvores nativas: o alburno da madeira de *Pinus taeda* é amarelado claro, enquanto que o cerne é de coloração marrom avermelhada. O alburno é usualmente largo quando em crescimento secundário. O cerne começa a se formar em árvores com cerca de vinte anos. Em árvores velhas de crescimento lento o alburno chega a ter apenas 2 a 5 cm de largura. A madeira de *Pinus taeda* é muito pesada e resistente, dura e moderadamente resistente ao choque. Apresenta grã reta, textura média e é de difícil trabalhabilidade com ferramentas manuais. Apresenta alta resistência ao arrancamento de pregos, mas pode ser de difícil colagem. Tem relativamente alta contração, mas é estável quando a secagem for conduzida adequadamente. A resistência a degradação do cerne é classificada como moderada a baixa, sendo o alburno mais facilmente impregnado com produtos preservativos da madeira. (USDA FOREST SERVICE, 2000).

4.2 QUALIDADE DA MADEIRA

A madeira, que é composta por agregações de células vegetais, é uma das principais matérias-primas industriais, apresenta características tais como anisotropia (propriedades distintas nos diferentes sentidos de crescimento), higroscopicidade (capacidade de perder ou adquirir umidade dependendo das condições ambientais) e variabilidade nas propriedades.

A variabilidade da madeira ocorre de diferenças estruturais desde a ultraestrutura da parede celular, a geográficas, sendo que a fonte de variação que ocorre dentro da árvore talvez seja a mais significativa COWN (1974).

A madeira é produzida num ciclo anual por uma camada de tecido regenerativo cambial, que se situa interior à casca e, envolve completamente o tronco, galhos e raízes da árvore. Desta forma, durante cada estação de crescimento, uma nova camada de tecido lenhoso é sobreposta à madeira existente.

A natureza das células da madeira é fortemente dependente da idade real do tecido cambial segundo COWN (1974), e assim zonas distintas de madeira podem ser distinguidas dentro da árvore, dependendo fortemente da posição da madeira em relação ao centro do tronco e ao topo da árvore.

As diferenças existentes entre as espécies, a variação das características anatômicas, das propriedades físicas e mecânicas dentro de um mesmo indivíduo, são há muito tempo conhecidas e pesquisadas.

SANIO (1872), descreveu originalmente o padrão de variação do comprimento de traqueóides de *Pinus sylvestris* a sucessivos anéis de crescimento, da medula para o exterior do tronco, observando que a qualquer nível do tronco, o comprimento dos traqueóides gradualmente aumenta, até tornar-se constante.

Esta variação ocorre, de modo geral, também para outras características, como na proporção de lenho tardio, massa específica e conteúdo de celulose.

A Figura 01, adaptada de COWN (1980), ilustra de modo geral as tendências de variação da massa específica e comprimento de traqueóides na madeira de *Pinus radiata*. Essas tendências foram observadas também por MUÑIZ (1993), em árvores com 30 anos, de *Pinus taeda* e *Pinus elliotti*, plantadas no sul do Brasil.

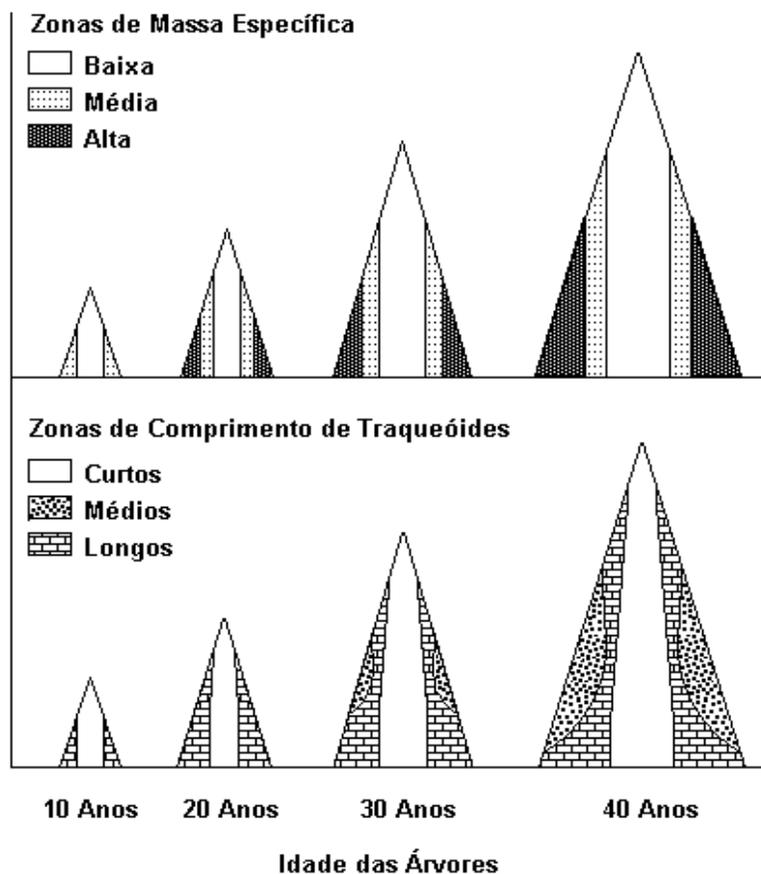


FIGURA 01 - ZONAS DE VARIAÇÃO DE PROPRIEDADES DA MADEIRA EM ÁRVORES DE *Pinus radiata*. (Adaptado de COWN, 1980).

Para se obter um entendimento das propriedades da madeira e seu comportamento, torna-se necessário o estudo da anatomia da madeira, a ultraestrutura da parede celular e suas variações. As propriedades da madeira e de produtos a base de madeira estão fortemente correlacionadas com a estrutura anatômica desta (ZOBEL et al., 1959; DINWOODIE, 1965).

O principal objetivo da investigação anatômica, segundo HUGHES (1973), é verificar a relação existente entre as características estruturais da madeira e seu uso; por exemplo, as dimensões das fibras são indicações importantes do potencial de uma espécie de madeira, para a fabricação de papel com propriedades específicas.

Estudos comprovam a existência de estreita correlação entre volume de fibras, massa específica e resistência mecânica em dicotiledôneas, sendo os elementos celulares (fibras libríformes e fibrotraqueóides) os mais importantes em relação a resistência mecânica.

Vários estudos desta natureza foram realizados, sendo um dos primeiros o de BAKER

& SMITH (1924), na Austrália, realizados com *Eucalyptus* spp. na verificação da possibilidade de seu emprego como matéria-prima para a fabricação de papel. Muitos outros trabalhos se seguiram, como os realizados por DADSWELL (1939, 1957 e 1958), WARDROP (1951), entre outros.

A variação das propriedades em função da idade da madeira e sua posição na árvore, deve ser levada em consideração nos estudos de qualidade da madeira, de acordo com DADSWELL & NICHOLLS (1960), BURLEY (1969), BENDTSEN & SENFT (1986), KLOCK (1989), entre outros, que quantificaram de acordo com a idade da madeira, a variação do comprimento de traqueóides, da massa específica, da porcentagem de lenho tardio e do ângulo fibrilar. Também BISSET & DADSWELL (1950), anteriormente, constataram estas variações para o comprimento de fibras, da massa específica e de diâmetros de vasos, para o eucalipto. DUFFIELD (1961), afirma existirem grandes diferenças nas propriedades da madeira, e que o conhecimento da variação dentro das espécies é incompleto, devido a multiplicidade e interação das causas de variação dentro das mesmas.

As causas são classificadas como controladas geneticamente, ambientalmente e pela posição no tronco. As variações são classificadas em dois grupos: fatores internos (inerentes a árvore) e fatores externos (inerentes ao ambiente e técnicas silviculturais).

GOGGANS (1961), e ZOBEL & RHODES (1965), citam a influência genética nas propriedades da madeira, e vários autores, entre eles DADSWELL (1957), JACKSON & MORSE (1965), NICHOLLS (1971), KLOCK (1989), MUÑIZ (1993) e LARA PALMA (1994), observaram a variação das propriedades da madeira de acordo com a posição no tronco. Para as coníferas a massa específica básica aumenta da medula para a casca, acontecendo o mesmo com o comprimento dos traqueóides.

Muitos trabalhos sobre a relação da variação das características anatômicas com o ambiente e sua influência na qualidade da madeira foram desenvolvidos. CARLQUIST (1975), analisou as variações ecológicas em dimensões de células constituintes da madeira; HARRIS (1977), mostrou que a massa específica em *Pinus radiata* está relacionada com a altitude e COWN (1974), encontrou uma variação de 30% na massa específica em *Pinus radiata*, devido a efeitos de latitude na Nova Zelândia.

A influência das técnicas silviculturais na qualidade da madeira, foi estudada por muitos pesquisadores, tais como: FIELDING (1965 e 1967), NICHOLLS (1971), COWN (1974), RUDMAN & MCKINNEL (1975) e OHTA (1981), entre outros. Entre os fatores

estudados estão a poda, desbaste, fertilização, irrigação e espaçamento. De maneira geral, há consenso de que o tratamento silvicultural intensivo pode afetar a qualidade da madeira.

FUJIWARA & YANG (2000), por exemplo, observaram em *Pinus banksiana*, *Picea mariana*, *Picea glauca* e *Abies balsamea*, correlação entre o comprimento dos traqueóides e a taxa de crescimento em circunferência, sendo a relação negativa. Os autores concluíram que, a taxa de crescimento em circunferência é um bom indicador do efeito do crescimento da árvore no comprimento das células da madeira em coníferas e desta forma técnicas silviculturais como o desbaste e fertilização podem influir na variação do comprimento dos traqueóides em coníferas.

Atualmente no Brasil, devido a necessidade de se obter usos mais adequados para as espécies florestais, especialmente as de rápido crescimento, há intensificação no estudo da qualidade da madeira dando ênfase a pesquisas sobre massa específica, orientação da grã, comprimento de fibras, resistência mecânica e sobre características tecnológicas destas espécies em relação a produtos e processos, para a correta utilização das mesmas. MORESCHI (1976); FOELKEL (1976); BARRICHELLO & BRITO (1978); BARRICHELLO (1979); TOMASELLI (1980), TOMASELLI & CASTRO (1980); PEREIRA (1982, 1992); DURLO (1988); KLOCK (1989); STUMP (1992); MUÑIZ (1993); LARA PALMA (1994); LUCAS FILHO (1997); BORTOLETTO JUNIOR (1993 e 1999); SANTINI et al. (2000), entre outros, estudaram as propriedades anatômicas, químicas, da celulose, físicas e mecânicas das espécies do gênero *Pinus* plantadas em várias regiões do País, com idades diversas, comparando em alguns estudos com a madeira de *Araucaria angustifolia*, contribuindo de forma importante para o estabelecimento da qualidade da madeira dessas espécies nas condições brasileiras.

IWAKIRI (1989), estudou a influência de variáveis de processamento sobre as propriedades de chapas de partículas da madeira de *Pinus* sp.; PEREIRA (1992), estudou a formação e controle da mancha marrom em madeira serrada de *Pinus elliottii* var. *elliottii*; MATSUNAGA (1995), avaliou a utilização de madeira comercial de *Pinus taeda* L. e da adequabilidade da Norma Européia Unificada à construção de vigas laminadas coladas, enquanto MATOS (1997), estudou a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.

Os primeiros estudos, comparando tecnologicamente as espécies do gênero *Pinus* de rápido crescimento em condições brasileiras, foram conduzidos por MORESCHI (1976),

FOELKEL (1976); BARRICHELLO & BRITO (1978); BARRICHELLO (1979) e TOMASELLI & CASTRO (1980), para relacionar a qualidade da madeira com a produção de celulose e propriedades do papel.

TOMASELLI (1980), por exemplo, correlacionando a madeira de *Araucaria angustifolia* com a madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* de reflorestamentos de 18 anos, concluiu que a massa específica básica para as três espécies era a mesma, e que para os *Pinus* spp. foram encontradas grandes diferenças na resistência à flexão entre madeira juvenil e madeira adulta, o que não ocorreu com a Araucária. Já para a madeira adulta das três espécies, nenhuma diferença foi encontrada, tendo sido considerados os valores obtidos para as espécies até certo ponto, surpreendentes. Também, KLOCK (1989), em estudo da qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*, de 14 e 20 anos, concluiu que existe diferença significativa entre a madeira adulta e juvenil em todas as propriedades estudadas.

SANTINI et al. (2000), estudando as propriedades físicas e mecânicas de *Pinus elliotti* e *Pinus taeda* com 13 anos e *Araucaria angustifolia* com 19 anos, não encontrou diferença significativa na massa específica básica e nas contrações da madeira entre as espécies, e embora os valores nominais das propriedades da madeira de Araucária fossem superiores, apenas o módulo de elasticidade em flexão estática, compressão axial e dureza axial foram estatisticamente diferentes; entre as duas espécies de *Pinus*, não houve diferença estatística.

4.3 MADEIRA JUVENIL

4.3.1 Definição de madeira juvenil

A madeira juvenil em uma árvore é aquela que está compreendida dentro dos primeiros anéis anuais de crescimento do indivíduo, ou aqueles que estão mais próximos da medula deste. Muitos autores como PANSWIN & ZEEUW (1970), JANKOWSKY (1979), BENDTSEN (1978) e KELLINSON (1981) entre outros, indicam que a madeira juvenil é "o xilema secundário produzido pelas regiões cambiais que são influenciadas pela atividade dos meristemas apicais".

4.3.2 Localização da madeira juvenil

A demarcação entre madeira juvenil e adulta não é clara devido à mudança gradual nas células. De fato, o número real de anéis da madeira juvenil depende de como ela é definida anatomicamente: por exemplo, o comprimento dos traqueóides pode atingir estabilidade antes da espessura da parede celular.

Apesar da madeira juvenil, em geral, apresentar anéis anuais de crescimento largos, este aspecto não está necessariamente associado à madeira juvenil, já que existem outras variáveis que podem determinar o estado juvenil da madeira, como fatores silviculturais, de manejo, da plantação, ou fatores genéticos (TSOUMIS, 1991). A localização da madeira juvenil no fuste é discutida por muitos pesquisadores, estimando-se que está compreendida em uma faixa entre o quinto e o vigésimo anel anual de crescimento (PANSHIN & ZEEUW, 1970). Não obstante, investigações realizadas na Nova Zelândia para *Pinus radiata*, indicam que a madeira juvenil pode ser identificada como aquela que se encontra até o décimo anel anual de crescimento. Entretanto, isto não representa um bom indicativo, visto que fortes variações foram determinadas de acordo com a procedência do indivíduo, tendo-se a madeira juvenil compreendida até o décimo quinto anel ou ainda, localizada na zona interna aos 10 primeiros anéis (COWN, 1980). Assim, vários fatores podem incidir sobre a formação da madeira juvenil, como o sítio, técnicas de manejo florestal e tratamentos silviculturais.

COWN (1980), concluiu que talvez o método mais fiel para detectar a presença de madeira juvenil, seria considerar como tal, a madeira com massa específica menor que 400 kg.m^{-3} . Outros pesquisadores, como GOGGANS (1961); HALLOCK (1968) e ERICKSON & HARRISON (1974), entretanto sustentam que a determinação ou definição da localização da madeira juvenil, tem como principal critério o comprimento dos traqueóides, já que estes se associam mais com a qualidade desta, concordando que a madeira juvenil limita-se em alguma parte entre o quinto e o vigésimo anel, dependendo da espécie e, com alguma extensão da localidade.

A mudança das características de madeira juvenil para adulta não se dá de forma abrupta, mas sim gradativa, de maneira que sua demarcação não é muito clara. O período de formação de madeira juvenil varia segundo a espécie e condições de crescimento, conforme as observações de BENDTSEN (1978), e muitas características como o comprimento das fibras e traqueóides, espessura da parede celular, massa específica, ângulo das fibras,

resistência, e outras, vão se modificando até atingirem uma certa estabilidade na madeira adulta.

A Figura 02, segundo COWN (1980), mostra esquematicamente a localização da madeira juvenil no tronco da árvore adulta, incluindo algumas das características, em termos relativos à madeira adulta.

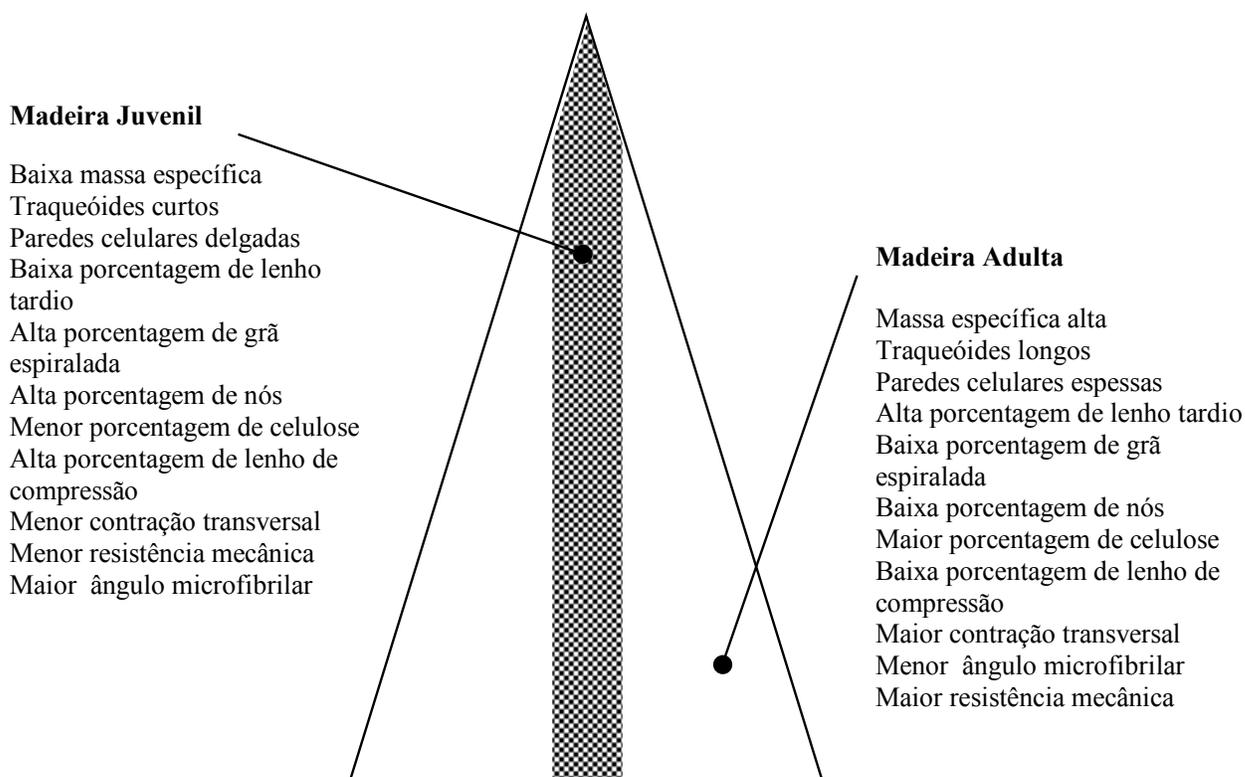


FIGURA 02 - LOCALIZAÇÃO DA MADEIRA JUVENIL NA ÁRVORE .
(Adaptado de BENDTSEN (1978) e COWN (1992).

4.3.3 Características da madeira juvenil

A madeira juvenil apresenta características bastante peculiares a partir de distintos pontos de vista, tais como o anatômico, e de suas propriedades físicas e mecânicas, como os relacionados na Figura 02.

Do ponto de vista de suas propriedades físicas e mecânicas e características anatômicas, a madeira juvenil possui traqueóides mais curtos que a madeira adulta, ângulo microfibrilar maior, sobretudo na camada S2 da parede celular, que é também mais delgada

comparada a de madeira adulta, o que implica que a madeira juvenil apresenta maior contração longitudinal e menores contrações radial e tangencial, por possuir menor conteúdo de celulose. Como característica física marcante deste tipo de madeira cita-se a massa específica, que é menor do que a madeira adulta, assim como, a tendência de apresentar grã em espiral, o que gera defeitos, sobretudo torcimento na secagem de madeira serrada. Além destes aspectos, a madeira juvenil apresenta uma menor porcentagem de lenho tardio e uma maior incidência de nós que a madeira adulta, BENDTSEN (1978) e COWN (1980).

ZOBEL et al. (1959), comentam ainda que, a madeira juvenil em coníferas pode conter alta porcentagem de lenho de compressão.

Para *Pinus taeda*, por exemplo há uma diminuição de 13%, na massa específica, traqueóides mais curtos, menor espessura da parede celular, segundo ZOBEL & BLAIR (1976). A massa específica para espécies tropicais do gênero *Pinus* apresenta-se em média 12,6% menor (BOONE & CHUDNOFF, 1972). Já McALISTER & CLARK (1991), determinaram uma diminuição de 23,07%, também para *Pinus taeda*.

O comprimento dos traqueóides é cerca de 52,2% inferior na madeira juvenil de espécies tropicais de *Pinus* (BOONE & CHUDNOFF, 1972) e para *Pinus taeda*, segundo ZOBEL & BLAIR (1976), o comprimento médio é menor em cerca de 30,37%, enquanto que a espessura da parede é cerca de 51,74% menor.

O ângulo microfibrilar aumenta em cerca de 175% para madeiras de coníferas (DADSWELL, 1958) e a contração longitudinal, a 12% de umidade desde o estado verde para *Pinus taeda* praticamente quadruplica (PEARSON & GILMORE, 1980).

Com relação as propriedades mecânicas, a madeira juvenil se caracteriza por apresentar menores valores de resistência. Peças estruturais que contenham uma determinada quantidade do madeira juvenil apresentam qualidades estruturais inferiores, sendo o motivo pelo qual as diferenças entre as propriedades da madeira juvenil e adulta são importantes para a utilização da madeira.

Olson et al. (1947), citados por BENDTSEN (1978), estudaram sete espécies do gênero *Pinus* para avaliar a massa específica e a resistência da madeira com e sem a inclusão da medula e verificaram que as amostras que continham a medula forneceram resultados inferiores tanto em massa específica como em resistência.

CHOONG et al. (1989), encontraram para *Pinus palustris* e *Pinus elliottii*, contrações tangencial e radial menores em corpos de prova obtidos de madeira próxima a medula,

comparadas às contrações de corpos de prova retirados da madeira intermediária, e mais afastada da medula.

Diversas pesquisas têm demonstrado modificações nas propriedades da madeira em função do rápido crescimento e da maior proporção de madeira juvenil, o que, segundo BENDTSEN (1978), justifica um questionamento a respeito da aplicabilidade das tensões admissíveis até agora utilizadas para madeiras de povoamentos naturais em madeiras de florestas manejadas.

PEARSON & GILMORE (1980), consideram que as árvores de rápido crescimento utilizadas em seu estudo, deveriam ser enquadradas como subespécies distintas, com suas próprias características e propriedades, devido à produção de grande porcentagem de madeira com propriedades mecânicas inferiores à da madeira de *Pinus taeda* usada comercialmente nos Estados Unidos. Pela comparação entre as mudanças das propriedades da madeira central para a madeira externa, concluem que há indicações de que a madeira adulta das árvores de rápido crescimento tem, provavelmente, propriedades similares às da madeira de árvores de crescimento natural ao atingirem idades maiores.

KLOCK (1989) e MUÑIZ (1994), determinaram em madeira juvenil de espécies do gênero *Pinus* plantadas no Brasil, de procedências distintas, valores médios do módulo de ruptura e módulo de elasticidade de flexão estática, menores em cerca de 40% a 100 % respectivamente, em relação a madeira adulta, e diferenças ainda maiores foram observadas para os valores médios do módulo de ruptura e módulo de elasticidade em compressão paralela, de 33 a 120%.

4.3.4 Importância da Madeira Juvenil

Em geral, a madeira juvenil se apresenta de forma mais pronunciada em coníferas do que em folhosas, podendo existir uma mudança abrupta ou ocorrer uma transição paulatina entre as madeiras juvenil e adulta. No caso de espécies do gênero *Pinus*, parece ajustar-se melhor à segunda alternativa (COWN, 1980).

A madeira juvenil é particularmente importante em coníferas de rápido crescimento, podendo ocupar grande parte do volume dos fustes delgados em indivíduos cultivados em rotações curtas.

No caso de *Pinus taeda* estima-se que em uma árvore de 15 anos de idade 40% da

madeira é constituída por madeira juvenil, a 40 anos de idade, cerca de 25%, (TSOUMIS, 1991).

KELLISON (1981), comenta que a proporção de madeira juvenil numa tora, é dependente da idade de corte, como pode-se observar na Tabela 01, comparando as porcentagens de madeira juvenil em *Pinus taeda* de diferentes idades, o que parece ser mais realista para as condições das árvores que crescem no Brasil, do que a estimativa apresentada por TSOUMIS (1991), para 15 anos.

TABELA 01 - VARIAÇÃO DA PROPORÇÃO DA MADEIRA JUVENIL EM FUNÇÃO DA IDADE DA ÁRVORE DE *Pinus taeda*.

Idade da árvore (anos)	Porcentagem de madeira juvenil	
	% em peso seco	% em volume
15	75	85
25	50	55
45	15	19

Fonte: KELLINSON (1981).

Segundo BENDTSEN & SENFT (1986), dever-se-ia realizar um estudo interdisciplinar entre pesquisadores, silvicultores e tecnólogos da madeira, para demarcar as diferentes linhas de pesquisa tais como: comparação entre as propriedades da madeira adulta e juvenil; decisões sobre espaçamento, fertilização e período de rotação com base na proporção da madeira juvenil e adulta na árvore, e o conhecimento para selecionar os processos de secagem, tipos de máquinas e acabamento baseados na porcentagem de madeira juvenil.

4.4 PROPRIEDADES DA MADEIRA

4.4.1 Características anatômicas

4.4.1.1 Estrutura da madeira

A madeira é um material heterogêneo e sua variabilidade estrutural e química é refletida numa ampla gama de propriedades físicas tais como: permeabilidade, comportamento quanto à capilaridade, condutividade térmica e difusão da água de impregnação (SIAU, 1984).

A estrutura lenhosa é considerada como uma organização arquitetônica da madeira, ou seja, dependente da natureza e arranjo de seus componentes físicos (macroscópicos, microscópicos, ultramicroscópicos) e químicos (TSOUMIS, 1991).

As células do xilema, ou células lenhosas, podem ser classificadas como células de prosênquima e células de parênquima. Dependendo de suas funções, são classificadas como células condutoras, de sustentação, de armazenagem, e de secreção (Tabela 02), segundo LEWIN & GOLDSTEIN (1991) e KLOCK & MUÑIZ (1998).

TABELA 02 - PRINCIPAIS FUNÇÕES EXERCIDAS PELOS DIVERSOS TIPOS DE CÉLULAS PRESENTES EM CONÍFERAS E FOLHOSAS.

Madeira	Função			
	Mecânica	Condução	Armazenagem	Secreção
Coníferas	Traqueóides do lenho tardio	Traqueóides do lenho inicial e radiais	Parênquima radial e longitudinal	Células epiteliais de canais de resina
Folhosas	Fibrotraqueóides e fibras libriformes	Vasos e traqueóides vasculares	Parênquima radial e longitudinal	Células epiteliais de canais de resina

Fonte: LEWIN & GOLDSTEIN (1991) e KLOCK & MUÑIZ (1998).

As células condutoras e de sustentação são mortas, e contêm cavidades denominadas de pontoações (SJÖSTRÖM, 1981). As células de parênquima são elementos de estocagem de nutrientes, e permanecem vivas por um período de tempo maior do que as prosenquimatosas, as quais perdem seu protoplasma no ano em que são formadas. Por sua vez, a denominação prosenquimatosas é aplicada aos outros tipos de células, da madeira adulta, cujas principais funções na árvore viva são as de condução e de sustentação (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968).

A madeira é um material anisotrópico, com propriedades distintas nos seus três eixos ortotrópicos. Tais diferenças, assim como outras propriedades físicas da madeira, são o

resultado direto da estrutura da parede celular, da orientação celular, do tipo de células presentes e sua distribuição, e das relativas proporções na qual estas estão presentes. Em decorrência da anisotropia, a resistência da madeira quanto à tensão ao longo da grã, ou sentido longitudinal, é várias vezes superior à do sentido transversal. Além disso, alterações dimensionais, decorrentes da desorção ou absorção da água na madeira, ocorrem na faixa de 1 a 10% nos sentidos transversais (tangencial e radial), dependendo da espécie, enquanto que no sentido longitudinal é de apenas 0,1%, obedecendo de forma geral a seguinte tendência: tangencial > radial >> longitudinal.

Outrossim, a permeabilidade da madeira ao fluxo de líquidos é superior no sentido longitudinal em relação ao transversal (THOMAS, 1991; BODIG & JAYNE, 1993 e BOTOSSO, 1997).

4.4.1.2 Ultra estrutura da parede celular

Sob forte magnificência da luz visível, várias camadas podem ser reconhecidas nas paredes celulares da madeira FENGEL & WEGENER (1989).

Uma demarcação clara entre as camadas individuais pode ser vista com microscópio eletrônico. Com a ajuda deste instrumento, o conhecimento atual da composição estrutural das paredes celulares da madeira foi obtido entre os anos 50 e 70. Detalhes da imagem correta da estrutura da parede celular, particularmente do seu desenvolvimento são descritos por diversos autores, por exemplo HARADA (1965) e CÔTÉ & DAY (1969), entre outros.

Segundo FENGEL & WEGENER (1989), o arranjo concêntrico das camadas da parede celular é causado pelas diferenças na composição química e pela diferente orientação dos elementos estruturais.

Nesta ordem de magnitude os componentes são subdivididos em:

- Componente estrutural → CELULOSE

- Componentes sub-estruturais → POLIOSES (hemiceluloses) e
→ LIGNINA.

Quando as polioses e a lignina são removidas, a textura do elemento celulósico, chamado fibrila, é visível. Várias observações em microscópio eletrônico deram origem a um

modelo de construção da parede celular da madeira, ilustrado na Figura 03 (FENGEL E WEGENER, 1989).

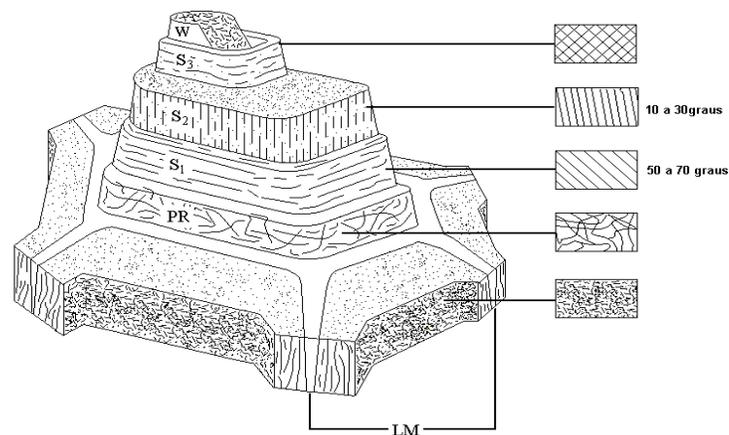


FIGURA 03 - MODELO DA ESTRUTURA CELULAR DE TRAQUEÓIDES DE CONÍFERAS E FIBRAS LIBRIFORMES DE FOLHOSAS. LM = LAMELA MÉDIA, P = PAREDE PRIMÁRIA, S1 = CAMADA 1 DA PAREDE SECUNDÁRIA, S2 = CAMADA 2 DA PAREDE SECUNDÁRIA, S3 = CAMADA 3 DA PAREDE SECUNDÁRIA OU PAREDE TERCIÁRIA SEGUNDO ALGUNS AUTORES, W= CAMADA VERRUGOSA (WARTS).(Adaptado de FENGEL E WEGENER, 1989).

A lamela média é altamente lignificada, apresentando substâncias pécicas principalmente no estágio inicial de formação. Sua espessura com exceção dos cantos das células é de 0,2 a 1,0 μm (HARADA, 1965; FENGEL & WEGENER, 1989 e LEPAGE, 1989).

Na parede primária (P) as fibrilas de celulose são arranjadas em delgadas camadas que se cruzam formando um aspecto de redes. A parede primária é a primeira camada depositada durante o desenvolvimento da célula, este sistema permite uma expansão (crescimento) da célula jovem. Por consequência, a orientação das fibrilas na camada mais externa é mais oblíqua. Ressalta-se que a quantidade de celulose na Parede Primária é muito limitada, contém também polioses (hemiceluloses), pectina e proteínas imersas numa matrix de lignina, sua espessura varia de 0,1 a 0,2 μm (HARADA, 1965; FENGEL & WEGENER, 1989 e LEPAGE, 1989).

A parede secundária é a camada espessante da célula, é depositada sobre a parede primária após seu crescimento superficial ter-se completado. Consiste de três camadas: externa - S1, média - S2 e interna - S3.

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

Na camada S1, com espessura de 0,2 a 0,3 μm , as fibrilas de celulose se apresentam em orientação helicoidal suave. Existem várias subcamadas extremamente finas que se sobrepõe. Sendo as lamelas muito finas, o arranjo helicoidal (espiral) das fibrilas pode ser visível como um arranjo cruzado em certas espécies. O ângulo formado entre as fibrilas em relação ao eixo da célula considerada pode variar entre 50 e 70°. É mais lignificada, assemelhando-se neste sentido mais à parede primária, sendo também mais resistente ao ataque de fungos que a S2.

A camada S2 é a mais espessa da parede celular, forma a porção principal da célula, com espessamento variando de 1 a 9 μm . Nesta camada as fibrilas estão dispostas num ângulo praticamente reto em relação ao eixo da célula, podendo variar entre 10° e 30°, diminuindo com o aumento do comprimento da célula.

A variação do ângulo formado pelas fibrilas de celulose em relação ao eixo axial das células é o resultado de um número de influências internas e externas, as quais são difíceis de identificar. Porém de maneira geral as variações existem dentro de um anel de crescimento onde o ângulo decresce do início do lenho inicial ao fim do lenho tardio, no sentido radial. Em anéis anuais sucessivos o ângulo decresce continuamente da medula para a casca, até um estado em que permanece constante, ou apenas sujeito a pequenas mudanças.

A camada interna S3, considerada recentemente por alguns autores como parede terciária, por apresentar-se diferente das camadas S3 de células parenquimáticas (também fibras de monocotiledôneas, como bambus, que podem ter ainda quatro ou mais camadas). As fibrilas de celulose são arranjadas numa inclinação suave, porém não numa forma estritamente paralela. Possui uma concentração maior de substâncias não estruturais, o que confere a superfície do lume uma aparência mais ou menos lisa (HARADA 1965; FENGEL & WEGENER 1989 e LEPAGE 1989).

Finalmente, os traqueóides de coníferas e as fibras libriformes de folhosas mais primitivas apresentam quase sempre uma camada ou zona verrugosa (*warts*), que é uma

membrana delgada e amorfa, localizada na superfície interna da camada S3 ou parede terciária. É constituída de material semelhante a lignina em conjunto com pequenas quantidades de hidratos de carbono e substâncias pécicas.

Em conjunto, o sistema de arranjo e disposição das fibrilas de celulose, em combinação com as substâncias solidificantes não estruturais conferem às células da madeira uma sólida mas não inflexível constituição, a qual resiste a uma grande gama de forças que nela atuam (FENGEL & WEGENER, 1989).

TABELA 03 - ESPESSURA RELATIVA DAS CAMADAS DA PAREDE CELULAR COM OS RESPECTIVOS ÂNGULOS MICROFIBRILARES.

Camada da parede celular	Espessura relativa (%)	Varição angular das microfibrilas (graus)
Parede primária	± 1	Aleatória
Sub camada S ₁	10 – 22	50 – 70
Sub camada S ₂	40 – 90	10 – 30
Sub camada S ₃	2 – 8	60 – 90

Fonte: THOMAS (1991).

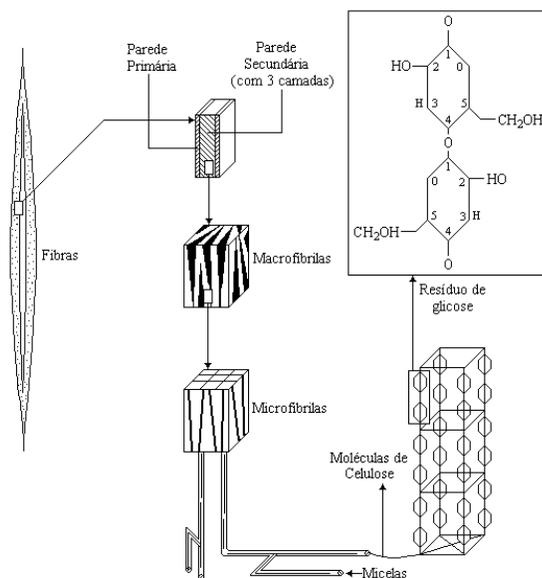


FIGURA 04 - ESQUEMA DA ESTRUTURA FIBRILAR DA PAREDE CELULAR (Adaptado de IPT, 1988).

Devido a pequena inclinação das fibrilas a S2 é provida de resistência à tração, enquanto que a S1, na qual as fibrilas bem inclinadas conferem resistência à compressão, ambas ao longo do eixo da célula (FENGEL & WEGENER, 1989).

A Tabela 03 apresenta as espessuras médias relativas às camadas celulares, assim como os respectivos ângulos microfibrilares e a Figura 04, ilustra de forma esquemática a formação da fibra de celulose e da parede celular.

4.4.1.3 Madeira de reação

O crescimento das árvores, sob um padrão normal, produz fustes eretos e verticais, contudo, quando estes são forçados fora deste padrão, por meio de inclinações ou curvaturas ocasionadas pelo vento ou forças gravitacionais, formam-se tecidos lenhosos anormais em determinadas regiões da árvore, sendo denominados como madeira de reação (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968 e FENGEL & WEGENER, 1989). Segundo ZOBEL et al. (1959), a madeira juvenil em coníferas pode conter alta porcentagem de lenho de compressão.

Nas coníferas, tais tecidos formam-se na parte inferior de um fuste inclinado ou curvado, recebendo a denominação de madeira de compressão. Nas folhosas, entretanto, os tecidos de reação ocorrem na região superior de uma inclinação ou curvatura no tronco e, na região superior dos galhos, sendo chamada madeira de tração (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968).

Em decorrência da madeira de reação possuir um comportamento diverso da madeira normal e, por algumas de suas propriedades não serem desejáveis para a construção ou processamento, este tipo de madeira é considerado como defeito, principalmente quando a ocorrência se faz de forma pronunciada ou em áreas extensas na madeira (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968).

O afastamento do crescimento padrão ou normal de um fuste resulta em um mecanismo para correção do fuste inclinado, o que ocorre por meio de uma combinação simultânea das seguintes atividades segundo PANSKIN & ZEEUW, (1970):

1. Aumento do crescimento radial, no lado inferior, em coníferas, e no lado superior nas folhosas;
2. Nas zonas de formação da madeira de reação, ocorre o aumento do comprimento dos traqueóides nas coníferas, durante o desenvolvimento de suas paredes secundárias, e decresce o comprimento das fibras nas folhosas, quando estas amadurecem;

3. Supressão do crescimento radial no lado oposto à madeira de reação;
4. Redução no comprimento de traqueóides no lado oposto à formação da madeira de compressão nas coníferas;
5. Por fim, ocorre um aumento na pressão osmótica, em direção à zona cambial, sobre o lado inferior nos troncos de coníferas.

Os primeiros três fatores são controlados por hormônios, e o controle químico na formação da madeira de reação parece bem evidente (PANSHIN & ZEEUW, 1970).

A Figura 05, apresenta microfotografias da madeira de reação de folhosas e de coníferas. As principais características do lenho de reação são apresentadas na Tabela 04.

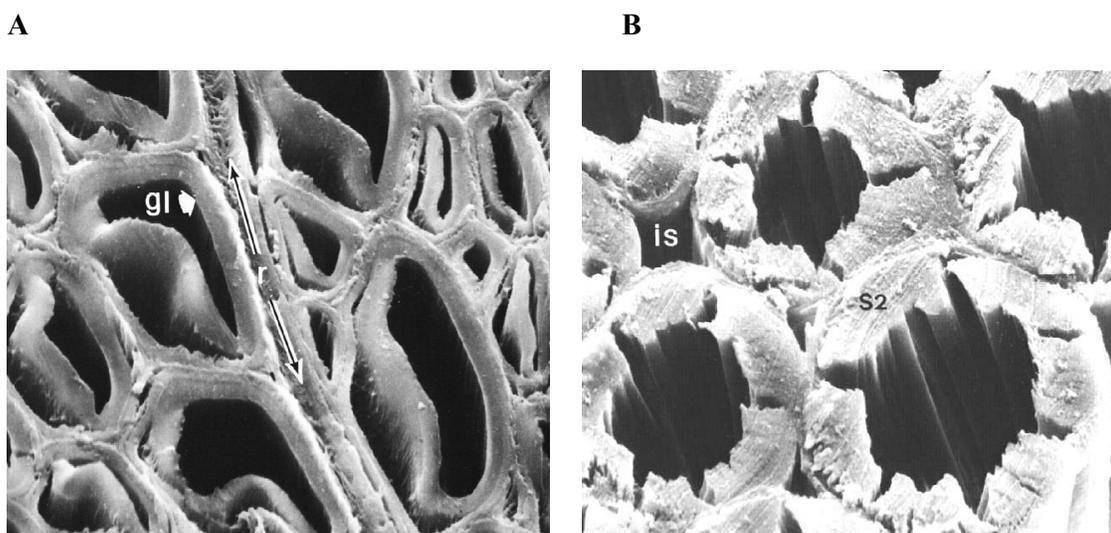


FIGURA 05 – **A** – MICROFOTOGRAFIA ELETRONICA DE LENHO DE TENSÃO DE FOLHOSA (*Populus* sp.), OBSERVA-SE A CAMADA GELATINOSA (gl) INTERNA SOLTA, CARACTERÍSTICA DO LENHO DE TENSÃO EM FOLHOSAS (COTE & DAY, 1969).

B - MICROFOTOGRAFIA ELETRONICA DA MADEIRA DE COMPRESSÃO DE CONÍFERA (*Pseudotsuga menziesii*), OBSERVA-SE A AUSÊNCIA DA CAMADA S3 E A PRESENÇA DE GRANDES FENDAS OU CAVIDADES NA CAMADA S2. O ASPECTO ARREDONDADO E OS ESPAÇOS INTERCELULARES QUE SÃO TÍPICOS DESTA MADEIRA ANORMAL (COTE & DAY, 1969).

TABELA 04 - COMPARAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DOS LENHOS DE COMPRESSÃO E TRAÇÃO

CARACTERÍSTICA	LENHO DE TENSÃO (TRAÇÃO) - Folhosas	LENHO DE COMPRESSÃO Coníferas
Características Físicas Macroscópicas e Propriedades Mecânicas	Excentricidade da seção transversal do caule. Madeira serrada e aplainada: brilho prateado em muitas espécies na zona da madeira de tensão, cor mais escura do que o normal em certas espécies tropicais e australianas. Contração longitudinal próxima de 1% em tábuas serradas verdes. Alta resistência à tração no estado seco, e mais baixo do que o normal no estado verde.	Excentricidade da seção transversal do caule. Madeira serrada e aplainada sem brilho, com aparência escura. Contração longitudinal próxima de 6~7%. Módulo de elasticidade, resistência ao impacto, resistência à tração: menor que madeira normal.
Características Anatômicas	Presenças de fibras gelatinosas, embora possam estar ausentes em algumas espécies. Vasos reduzidos em tamanho e número nas zonas da madeira de tensão. Raio e parênquima axial aparentemente não modificados.	Traqueóides arredondados. Espaços intercelulares. Transição do lenho inicial - tardio alterado: mais gradual que em madeira normal.
Macroestrutura	Camada gelatinosa presente. Três tipos de arranjos: 1. $S_1 + S_2 + S_3 + G$ 2. $S_1 + S_2 + G$ 3. $S_1 + G$	Traqueóides com fendas helicoidais ou cavidades na S_2 .
Ultraestrutura	Parede primária apresenta-se normal. Camada S_2 pode ser mais fina que o normal. Orientação das microfibrilas da camada G aproximadamente paralela às fibras axiais.	Camada S_3 ausente. Camada S_1 pode ser mais espessa que o normal. Orientação das microfibrilas na camada S_2 de aproximadamente 45°.
Composição Química	Lignificação variável das fibras do lenho de tensão. A camada G é levemente lignificada. Alto conteúdo de celulose. Baixo conteúdo de lignina. Maior quantidade de galactanas que o normal. Menor quantidade de xilanas do que o normal.	Lignina extra depositada entre as camadas S_1 e S_2 . Baixo conteúdo de celulose. Alto conteúdo de lignina. Maior quantidade de galactanas que o normal. Menor quantidade de galactoglucomananas do que o normal.

$S_1 - S_2 - S_3$ = subcamadas da parede secundária de traqueóide ou fibrotraqueóide.

G = camada gelatinosa

Fonte: CÔTÉ & DAY, (1965) e KOLLMANN & CÔTÉ, (1968).

4.4.1.4 Largura dos anéis anuais de crescimento

Algumas características da madeira são empregadas como indicadores de suas propriedades desde o início de sua utilização, devido à sua fácil visualização. Dentro destas características destacam-se a configuração dos anéis de crescimento, juntamente com a formação do cerne e o aspecto superficial (KNIGGE & SCHULTZ, 1966). Na maioria das coníferas a largura dos anéis de crescimento é facilmente identificável em corte transversal e pode ser indicadora de muitas características e do comportamento da madeira, tais como a regularidade e distribuição de determinadas propriedades, manutenção da forma depois de trabalhada, nodosidade interna, massa específica e propriedades mecânicas.

TRENDELENBURG & MAYER-WEGELIN (1956), em concordância com outros autores, sustentam que a largura do anel de crescimento, por si só, não constitui uma escala muito segura para a estimativa da resistência da madeira.

KNIGGE & SCHULTZ (1966), concordam que madeiras de coníferas com anéis de crescimento mais estreitos são mais pesadas e resistentes, ocorrendo o inverso em folhosas.

Investigações mais recentes, no entanto, indicam que a porcentagem do lenho tardio influi mais diretamente na massa específica e, conseqüentemente, na resistência, do que a largura do anel de crescimento (GURFINKEL, 1973).

A maioria dos autores, de forma geral, afirma que, para folhosas de porosidade em anel e coníferas de rápido crescimento que crescem em sítios normais, a correlação entre as propriedades mecânicas e a largura dos anéis anuais de crescimento tem validade, se bem que os valores fornecidos só podem ser considerados como uma estimativa bastante superficial, que pressupõe ainda grande variação. Outros autores aconselham utilizar como parâmetro para o julgamento da qualidade da madeira de coníferas de rápido crescimento o uso, bem como a regularidade e largura dos anéis de crescimento.

Segundo KNIGGE & SCHULZ (1966), existem grandes variações de largura dos anéis de crescimento dentro de uma árvore tanto num plano transversal como em função de sua altura. Estes mesmos autores, em conformidade com KREMPL (1977), observaram valores máximos de largura nos anéis de crescimento no ápice e na base das árvores crescidas em maciços florestais, localizando-se a zona de largura média mais regular na posição a um terço da altura da árvore.

4.4.1.5 Porcentagem de lenho tardio

A proporção entre os lenhos inicial e tardio é uma variável frequentemente observada em numerosos estudos sobre a qualidade da madeira. Esta proporção foi determinada por muitos autores, mostrando significativa afinidade com a massa específica, propriedades de resistência e outros fatores, como espécie, variedade, sítio, idade, posição no tronco, entre outros.

Segundo BROWN et al. (1952), o efeito do lenho tardio na massa específica deve-se ao fato deste lenho conter maior quantidade de material lenhoso por unidade de volume do que o lenho inicial. Isto torna-se evidente em madeiras de coníferas com transição abrupta de lenho inicial para lenho tardio e, em madeiras de folhosas com porosidade em anel. Nas últimas, a alta densidade do lenho tardio deve-se ao menor diâmetro e quantidade de vasos e a uma maior proporção de fibras.

De acordo com KNIGGE & SCHULTZ (1966), a proporção de lenho tardio é de grande interesse para as propriedades mecânicas da madeira, especialmente em se tratando de espécies com acentuada diferença de massa específica e estrutura entre as zonas de lenho inicial e tardio. Existe uma estreita correlação entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio, como visto anteriormente, sendo de se esperar que, quanto maior for a porcentagem deste, tanto maior será a resistência da madeira, o que é facilmente verificável em coníferas.

A variação da porcentagem de lenho tardio é coincidente com a da massa específica, tanto no sentido transversal como no sentido longitudinal da árvore, diminui com a altura, e aumenta no sentido medula casca.

TRENDELENBURG & MAYER-WEGELIN (1956), observaram que o decréscimo da porcentagem de lenho tardio em função da altura na árvore é mais acentuado em *Pinus* spp. que em outras espécies.

Os métodos e instrumentos disponíveis para medição do lenho tardio exigem um trabalho bastante difícil e demorado, apesar de certas madeiras permitirem uma boa divisão entre lenho inicial e tardio, podendo apresentar uma correlação entre a porcentagem de lenho tardio e a largura do anel de crescimento, o que facilitaria a estimativa da proporção deste lenho (KNIGGE & SCHULTZ, 1966).

4.4.1.6 Inclinação da grã e nodosidade

A inclinação da grã é a medida do desvio dos tecidos componentes da madeira em relação ao eixo longitudinal da peça. Se uma peça contendo tecidos axiais em um determinado ângulo do eixo longitudinal é sujeita aos esforços de tração ou compressão, o efeito dos componentes da força acompanha a direção da grã e a madeira se torna mais fraca nesta direção do que ao longo do eixo longitudinal da peça. A inclinação excessiva da grã é também indesejável, porque torna a madeira mais frágil e aumenta sua tendência para o empenamento com a variação no teor de umidade (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968; GURFINKEL, 1973 e CURRY & COVINGTON, 1974).

Considera-se normalmente que o efeito da inclinação da grã sobre as propriedades de resistência é maior em peças estruturais do que em pequenos corpos de prova. KNIGGE & SCHULTZ (1966), afirmam que uma pequena modificação na inclinação da grã redundando em acentuada perda de resistência, sendo mais afetada a resistência à tração, seguida pela resistência à flexão estática e à compressão.

A grã espiralada é uma ocorrência comum em coníferas e usualmente segue uma espiral à esquerda, isto é, inclinada à esquerda em relação ao eixo axial da árvore. No gênero *Pinus* isto é comum, aparecendo em muitas espécies, porém, em algumas espécies como *Pinus taeda*, tem pouca importância (BAMBER & BURLEY, 1983).

Muitas espécies do gênero *Pinus* têm propensão para produzir grandes e abundantes galhos, resultando na produção de madeira com muitos nós.

O nó é definido como a porção basal de um galho que tenha sido incorporado no tronco da árvore. A existência de nós na madeira implica em diferentes desvios dos seus tecidos componentes (grã) e da distribuição da massa específica. Desta forma, em madeiras com nós aparecem desvios da direção da grã, variação na massa específica, irregularidades nos anéis de crescimento e, com frequência, descontinuidade entre o nó e a madeira circundante, resultando, de maneira geral, em uma diminuição da resistência (THUNELL, 1958).

De acordo com KNIGGE & SCHULTZ (1966), a nodosidade desempenha um papel tão importante para as peças de dimensões estruturais que sua menor resistência com relação aos corpos de prova livres de defeitos pode ser vista como consequência quase exclusiva da ocorrência e distribuição dos nós.

Em peças estruturais sujeitas à flexão estática, os esforços são maiores na porção média do comprimento e nas partes extremas de altura. Por esta razão, o efeito dos nós sobre a resistência é maior quando localizados nas partes mencionadas (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968; SUNLEY, 1974 e LAVERS, 1974).

Para BAMBER & BURLEY (1983), o efeito dos nós na resistência de peças estruturais depende de seu tamanho em relação à seção transversal da peça. Desta forma, é mais desejável a ocorrência de nós pequenos e freqüentes do que de nós grandes e menos freqüentes, particularmente se ocorrem em verticilos. Por esta razão, as árvores multinodais são preferidas às uninodais.

Os nós tendem a ser mais resinosos do que a madeira circundante, influenciando também as características superficiais da madeira, por exemplo, facilitando o aparecimento freqüente de rachaduras. BROWN (1979), por este motivo, considerou os nós o mais sério defeito para a madeira de *Pinus radiata*.

MAYER (1977) e LEIDUNGGUT (1966), são unânimes em afirmar que há necessidade de estabelecer classes de qualidade da madeira que sirvam de base para medidas silviculturais. O mesmo autor salienta que estas classes devem basear-se em diversas características, dentre as quais destacam-se a nodosidade e a inclinação da grã.

4.4.1.7 Práticas silviculturais

Atualmente tem havido considerável interesse na relação das práticas silviculturais com a qualidade da madeira. Isto tem ocorrido devido as rápidas mudanças na natureza dos suprimentos de madeira, pela diminuição da disponibilidade de madeiras tradicionais de alta qualidade e pelo reconhecimento que a madeira proveniente de florestas plantadas e intensamente manejadas, difere da madeira de crescimento natural (BAMBER & BURLEY, 1983).

Muitos pesquisadores revisaram a literatura, visando estabelecer relações entre práticas silviculturais e a qualidade da madeira (FIELDING, 1967).

SCHULTZ (1986), afirma que é conhecido que tratamentos silviculturais mudam as propriedades da madeira, mas que os poucos resultados disponíveis são muito inconsistentes, e que também não há relação inversa conclusiva entre a massa específica e a taxa de crescimento, e por consequência árvores de rápido crescimento não terão necessariamente

madeira de baixa qualidade.

BAMBER & BURLEY (1983), consideram que a taxa de crescimento por si não altera significativamente as propriedades da madeira, porém altera a proporção de madeira juvenil e adulta nas toras de dimensões comerciais. Os autores também consideram que o espaçamento tem dois importantes efeitos nas propriedades da madeira, influenciando as características da ramificação e a taxa de crescimento.

Desbastes severos estão correlacionados com a redução da massa específica e comprimento dos traqueóides (FUJIWARA & YANG, 2000), além de um possível aumento do lenho de compressão.

A poda de galhos de crescimento vigoroso, acelera a transição da madeira juvenil à adulta abaixo do ponto de poda, podendo incrementar a massa específica em cerca de 5% nesta porção do tronco, segundo SCHULTZ (1986).

SCHILLING et al. (1998), estudando a influência de diferentes intensidades de poda sobre a porcentagem de lenho tardio e quantidade de nós na madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii*, em povoamentos com 10 anos, não encontraram influência significativa da desrama sobre aquelas características.

Sobre o efeito da fertilização, embora não pareça ser negativo sobre a qualidade da madeira, muitos pesquisadores tem mostrado que ocorre diminuição na massa específica e comprimento de traqueóides, podendo a redução na massa específica diminuir a resistência da madeira. O efeito da fertilização sobre a massa específica parece estar limitado a fertilizantes a base de nitrogênio, para os quais a redução de 3 a 7% na massa específica tem sido observada, (BAMBER & BURLEY, 1983).

COWN (1980), entretanto não considera esse efeito de importância prática. Considera que árvores saudáveis e vigorosas apresentem formas superiores resultantes da fertilização, e assim tenham um aproveitamento superior no desdobro, comparada as de desenvolvimento lento e geralmente de forma ruim.

Há consenso entre pesquisadores, que nos programas de melhoramento genético, os parâmetros de qualidade da madeira tem sido relegado a segundo plano em relação à característica como a forma e vigor da árvore. No entanto, há a possibilidade de promover avanços adequados de qualidade da madeira com a tecnologia atualmente existente.

4.4.1.8 A madeira de coníferas

As madeiras de coníferas apresentam uma estrutura relativamente simples, constituída por dois tipos de células: células de raio e traqueóides axiais. Os traqueóides constituem cerca de 90 a 95% da madeira, enquanto que as células de raio correspondem a uma faixa de apenas 5 a 10% (SJÖSTRÖM, 1981). Os traqueóides axiais são células compridas e delgadas, com extremidades fechadas mais ou menos afiladas, de acordo com a espécie.

Para uma melhor visualização da diferenciação na composição volumétrica em coníferas, são apresentados alguns dados a respeito na Tabela 05, de acordo com PANSHIN & ZEEUW (1970).

TABELA 05 - COMPOSIÇÃO VOLUMÉTRICA DA MADEIRA DE ALGUMAS ESPÉCIES DE CONÍFERAS

Espécies	Traqueóides longitudinais (%)	Células de raio totais (%)	Raios fusiformes (%)	Canais de resina longitudinais	Parênquima longitudinal (%)
<i>Pinus strobus</i> ¹	93,0	6,00	-	1,00	-
<i>Pinus strobus</i> ²	93,3	5,29	0,76	0,93	-
<i>Pinus cembra</i> ²	89,8	9,24	1,20	0,94	-
<i>Pinus nigra</i> ²	94,1	5,49	0,76	0,38	-
<i>Pinus pinaster</i> ²	93,3	6,22	0,60	0,93	-
<i>Pinus sylvestris</i> ²	93,0	6,41	0,93	0,58	-
<i>Picea abies</i> ²	94,1	5,95	0,77	0,14	-
<i>Larix decidua</i> ²	93,4	6,13	0,66	0,42	-
<i>Pseudotsuga menziesii</i> ²	92,4	7,22	0,84	0,35	-
<i>Abies alba</i> ²	92,6	7,45	-	-	-
<i>Cupressus sempervirens</i> ²	94,2	5,58	-	-	0,20
<i>Juniperus excelsa</i> ²	91,5	8,26	-	-	0,26

1. Árvores desenvolvidas nos Estados Unidos da América.

2. Árvores desenvolvidas na Iugoslávia.

Fonte: PANSHIN & ZEEUW, (1970).

Os traqueóides são arranjados em filas radiais, com sua extensão longitudinal orientada na direção do eixo axial do tronco.

Considerando-se o sentido lenho inicial - lenho tardio, o diâmetro das células torna-se menor enquanto que a parede celular torna-se mais espessa. Ao final do período de crescimento, traqueóides com lumens e diâmetros radiais pequenos são desenvolvidos, enquanto que no início do período de crescimento subsequente, traqueóides com lumens e diâmetros grandes são desenvolvidos pela árvore. Estas mudanças abruptas são visíveis a olho nu, como um anel anual de crescimento.

O crescimento do anel inicia-se na primavera e termina no outono. No início do período de crescimento o lenho é denominado de inicial ou primaveril, e ao fim do período, de lenho tardio ou outonal. O primeiro se caracteriza por apresentar células com paredes mais delgadas, diâmetro maior e comprimento relativamente menor do que as do lenho tardio (Figura 06). Por consequência, o lenho inicial é menos denso que o tardio (CHIMELO, 1989).

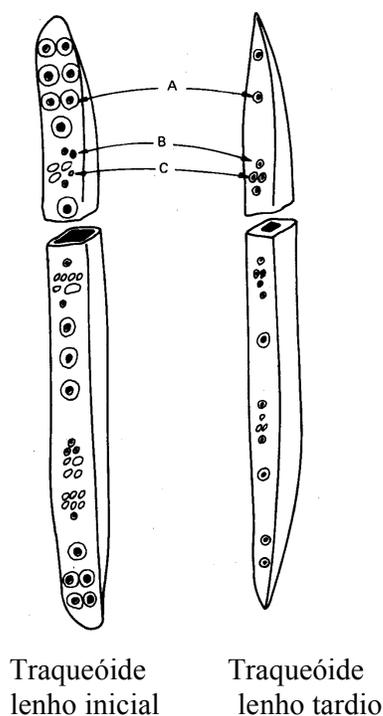


FIGURA 06 - TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL E TARDIO. A – PONTOAÇÕES AREOLADAS ENTRE TRAQUEÓIDES; B – PONTOAÇÕES AREOLADAS ENTRE TRAQUEÓIDE AXIAL E RADIAL; C – PONTOAÇÕES PINÓIDES ENTRE TRAQUEÓIDE E RAIOS PARENQUIMÁTICOS (CHIMELO, 1989).

Existe variação nas propriedades de coníferas devido a variação na porcentagem de lenho inicial e tardio, (maior a porcentagem de lenho tardio, maior a massa específica da

madeira), e se existir uma transição gradual ou abrupta do lenho inicial para o tardio, o que afeta a aparência da madeira, a trabalhabilidade e a superfície será mais ou menos áspera, (WHEELER, 2000).

Coníferas de madeiras mais densas (duras) apresentam uma transição abrupta do lenho inicial para o tardio. Enquanto que coníferas de madeiras menos densa (macias), embora apresentem anéis anuais de crescimento distintos, tem transição gradual entre os lenhos, e há geralmente pouco lenho tardio (WHEELER, 2000).

O comprimento dos traqueóides, de modo geral, encontra-se numa faixa entre 3 e 5mm, entretanto, varia conforme a espécie, de 1,18 mm no *Juniperus osteosperma* até 7,39 mm na *Sequoia sempervirens* (PANSIN & ZEEUW, 1970). O comprimento de forma geral, é cerca de 100 vezes ou mais sua largura (THOMAS, 1991), como pode ser observado nos exemplos apresentados na Tabela 06.

TABELA 06 - DIMENSÃO DE TRAQUEÓIDES LONGITUDINAIS (MADEIRA ADULTA)

Espécie	Variação do diâmetro tangencial médio (μm)*	Comprimento médio (mm)
<i>Sequoia sempervirens</i>	50--65	7,39 (1)**
<i>Pinus taeda</i>	35--45	4,33 (0,9)
<i>Picea sp.</i>	25--30	3,81 (0,5)
<i>Thuja sp.</i>	15--20	1,18 (0,3)

* μm = micrometros

** desvio padrão

Fonte: WHEELER, (2000).

Entretanto os traqueóides variam consideravelmente em comprimento em diferentes partes da mesma árvore. Os traqueóides são sempre mais curtos nos anéis próximos a medula do que nos próximos a casca, e um exemplo é apresentado na Tabela 07, a seguir, para traqueóides de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Em grande número de espécies de coníferas o comprimento médio dos traqueóides no primeiro anel é menor do que 1mm, aumentando sucessivamente até cerca de 60 anos, após ocorrendo apenas pequena alteração no comprimento médio. A variação também ocorre na altura da árvore.

TABELA 07 - CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES DE *Pinus caribaea* VAR. *hondurensis* DE 20 ANOS, A ALTURA DO DAP (MÉDIA DE 10 ÁRVORES)* .

Característica	Tipo de Lenho	Anéis de crescimento						
		2**	5	8	11	14	17	19
Comprimento (mm)	Inicial	2,3	3,6	4,0	4,2	4,5	4,6	4,6
	Tardio		3,6	4,1	4,5	4,6	4,7	4,7
Diâmetro do Lume (µm)	Inicial	43	52	55	55	56	56	56
	Tardio		22	21	22	22	22	23
Espessura da parede (µm)	Inicial	3,8	4,6	4,7	4,9	5,1	4,8	5,1
	Tardio		9,4	9,8	10,0	10,0	10,1	10,2

* Região de coleta - Agudos -SP.

** Os valores do anel 2 referem-se a média entre lenho inicial e tardio.

Fonte: KLOCK, (1989).

Visualizando um corte transversal de um fuste, é possível observar duas fases na madeira. A primeira, próxima à medula, corresponde a madeira juvenil, e a segunda, mais afastada da medula em direção à casca, é constituído da madeira adulta. A madeira juvenil representa uma fase de rápido crescimento longitudinal celular com mudanças fundamentais quanto à composição da parede celular, associado ao período de maturação cambial. Esta fase se estende por um período médio de 10 a 20 anos, mas pode apresentar situações de curta duração (5 anos), e de longos período, em torno de 60 anos. Contudo, existem espécies que apresentam períodos correspondentes ao lenho juvenil ainda maiores, a exemplo da *Sequoia sempervirens*, que para atingir o comprimento máximo de suas fibras ocorre num período entre 200 a 300 anos (PANSHIN & ZEEUW, 1970).

Os traqueóides de lenho tardio com suas paredes espessas provêm a sustentação mecânica, enquanto que os de lenho inicial, com seus grandes diâmetros predominantemente conduzem água e minerais dentro da árvore, que passa de um traqueóide a outro através de aberturas chamadas pontoações.

Pontoações são uma das várias características microscópicas da madeira. As células são interconectadas por pontoações, sendo portanto aberturas na parede secundária da célula.

Quando as células são formadas por divisões do cambio vascular, elas apresentam a parede primária. A parede primária é delgada e flexível. Após as células atingirem o tamanho

final, é depositada a parede secundária sobre a primária, as áreas onde não ocorre deposição consistem das pontoações, que assemelham-se a furos nas paredes celulares.

O número, forma e tamanho das pontoações variam conforme o tipo de célula, nas quais as características da membrana da pontoação também variam. Estas variações afetam a permeabilidade da madeira de coníferas, o que afeta a secagem da madeira, a polpação e os tratamentos com produtos químicos, (WHEELER, 2000).

Membranas de pontoações traqueóide-traqueóide em coníferas são diferenciadas em torus, uma área central espessada, e a margo, porção externa que possui aberturas (BURGER & RICHTER, 1991 e WHEELER, 2000). No alburno, as membranas das pontoações situam-se no centro da câmara, e a água passa de uma célula a outra através das aberturas da margo. Quando uma bolha de ar chega na célula, se a membrana é flexível, move-se para um lado da câmara da pontoação e o torus sela a abertura desta. A maioria das pontoações no cerne de coníferas são aspiradas, assim a madeira com cerne é menos permeável que o alburno.

A FIGURA 07, ilustra as pontoações areoladas e semi-areoladas, que ocorrem na madeira de coníferas, segundo CHIMELLO (1989).

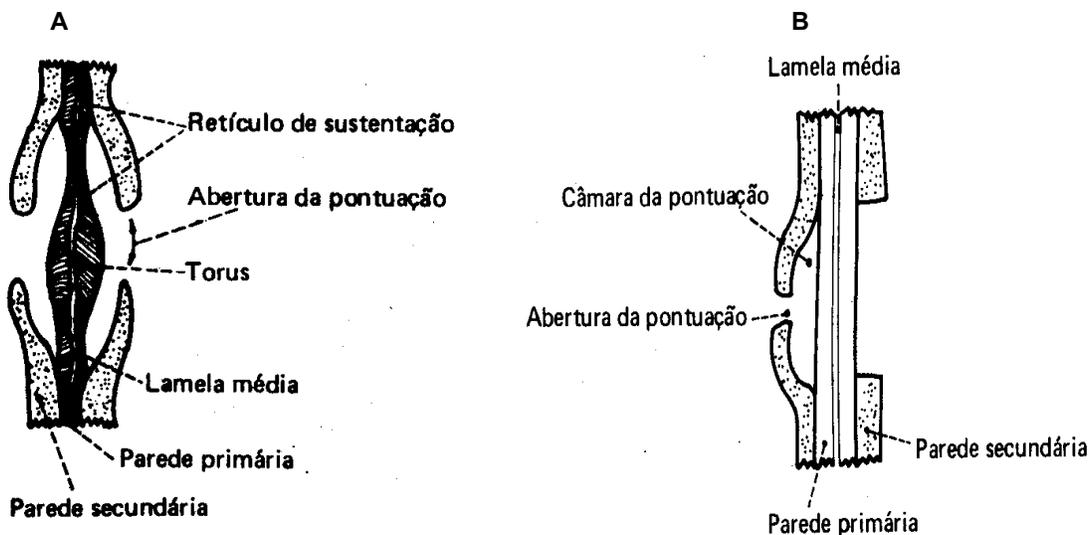


FIGURA 07 - DIAGRAMAS: A – PONTUAÇÃO AREOLADA B – PONTUAÇÃO SEMI-AREOLADA (CHIMELO, 1989).

Também, frequentemente as pontoações são aspiradas por deposição de extrativos que selam as aberturas. Geralmente as membranas das pontoações no cerne parecem mais espessas devido a deposição de extrativos. Cerne é mais difícil de tratar com produtos preservativos, para secar e para polpação devido a aspiração e devido a deposição de extrativos nas membranas das pontoações (BURGER & RICHTER 1991; WHEELER, 2000).

O armazenamento e transporte dos assimilados se dão pelas células de parênquima, as quais nas coníferas são predominantemente arrançadas no sentido radial (raios). Os elementos secretantes são as células epiteliais, as quais circundam os canais resiníferos.

Espécies de vários gêneros de coníferas, como *Pinus* spp., apresentam tubos ladeados por células epiteliais que produzem resina. Os canais são orientados longitudinalmente e também em alguns raios (WHEELER, 2000).

Canais de resina longitudinais ocorrem geralmente no lenho tardio e não na madeira primeiramente formada. São tubos forrados com células epiteliais (células paraquimentosas de paredes finas). Após uma árvore sofrer um dano, a madeira formada imediatamente após a injúria contém numerosos canais. Em alguns casos, após os danos, a madeira formada imediatamente após contém os canais de resina traumáticos, que não possuem o formato regular dos canais de resina normais (WHEELER, 2000).

Nas coníferas, os raios são uniseriados ou uniseriados fusiformes, sendo que o último mencionado, contém canal resinífero (*Pinus* sp., *Picea* sp., *Larix* sp. e *Pseudotsuga* sp.). O volume médio relativo dos raios, em coníferas comercialmente mais importantes, é de, aproximadamente, 7,0%, contudo, numa variação que se estende de 3,4 a 11,7%, e os raios fusiformes constituem apenas menos de 1% desses valores (THOMAS, 1991).

Os raios uniseriados, a exceção do *Chamaecyparis* sp., são compostos por células de parênquima radial ou parênquima com traqueóide radiais. Na segunda condição, os traqueóides se localizam no topo e fundo do raio, contudo, no *Chamaecyparis* sp., alguns raios uniseriados são compostos por traqueóides radiais apenas. Relativamente à suas alturas, algumas espécies contêm raios que podem exceder 60 células de altura mas, de modo geral, a faixa comum situa-se em torno de 10 a 15 células, embora existam espécies que apresentam raios com 6 células apenas de altura (THOMAS, 1991).

Os raios fusiformes, por sua vez, são compostos de células de traqueóides radiais, parênquima radial e epiteliais radiais. Os traqueóides radiais, conforme ocorre nos raios uniseriados, geralmente se localizam no topo e fundo dos raios, enquanto que as células de

parênquima radial são encontradas tanto na porção estreita quanto na porção larga do raio. O canal resinífero, por sua vez, localiza-se na porção larga, circundado por células epiteliais radiais (THOMAS, 1991; WHEELER, 2000).

Quanto às células do parênquima radial, possuem uma aparência retangular e um comprimento celular correspondente à 8 vezes superior a largura, sob uma faixa de variação de 0,3 a 0,8mm. Entretanto, comparativamente aos traqueóides longitudinais, são de comprimentos muito inferiores. Além disso, o parênquima radial é caracterizado pela presença de paredes celulares finas, com pontoações simples (THOMAS, 1991).

Os traqueóides radiais apresentam forma aproximadamente retangulares, além de serem mais curtos em relação ao parênquima radial, e seus respectivos comprimentos variam entre 0,1 a 0,2mm. Além disso, possuem pontoações areoladas com dimensões bem mais reduzidas do que as encontradas nos traqueóides longitudinais. As membranas das pontoações se caracterizam por possuírem um torus e um margo com aberturas bem reduzidas (THOMAS, 1991).

As células epiteliais, por sua vez, são responsáveis pela secreção de oleoresinas para o interior dos canais resiníferos. Nos *Pinus spp.*, tais células apresentam paredes delgadas com aparente ausência de pontoações, enquanto que em *Picea*, *Larix* e *Pseudotsuga*, as células epiteliais apresentam paredes espessas com presença de pontoações. Ainda em relação aos *Pinus spp.*, estes, por apresentarem canais resiníferos com dimensões e incidência mais elevadas, proporcionam a existência, neste gênero, do mais elevado volume de células epiteliais (THOMAS, 1991).

A Figura 08, segundo CHIMELO (1989), apresenta um modelo básico estrutural, com suas principais características e tipos celulares da madeira de uma conífera.

As pontoações que ocorrem entre células de parênquima e traqueóides longitudinais são chamadas de pontoações semi-areoladas. O formato destas pontoações variam de um grupo de coníferas para outro, assim estes tipos de pontoações são uma das mais úteis características na identificação da madeira de coníferas. Normalmente é necessário a utilização de lentes objetivas de 40 vezes de aumento, para se distinguir o tipo de pontoação semi-areolada, e para se examinar o lenho inicial, pelo menos as cinco primeiras filas em seção radial (WHEELER, 2000).

O campo de cruzamento, é definido como a área ligada pelas paredes interseccionadas de um traqueóide e uma simples célula de parênquima radial, o formato, tamanho e número de

pontoações por campo de cruzamento variam entre as madeiras de coníferas (BURGER & RICHTER, 1991; WHEELER, 2000).

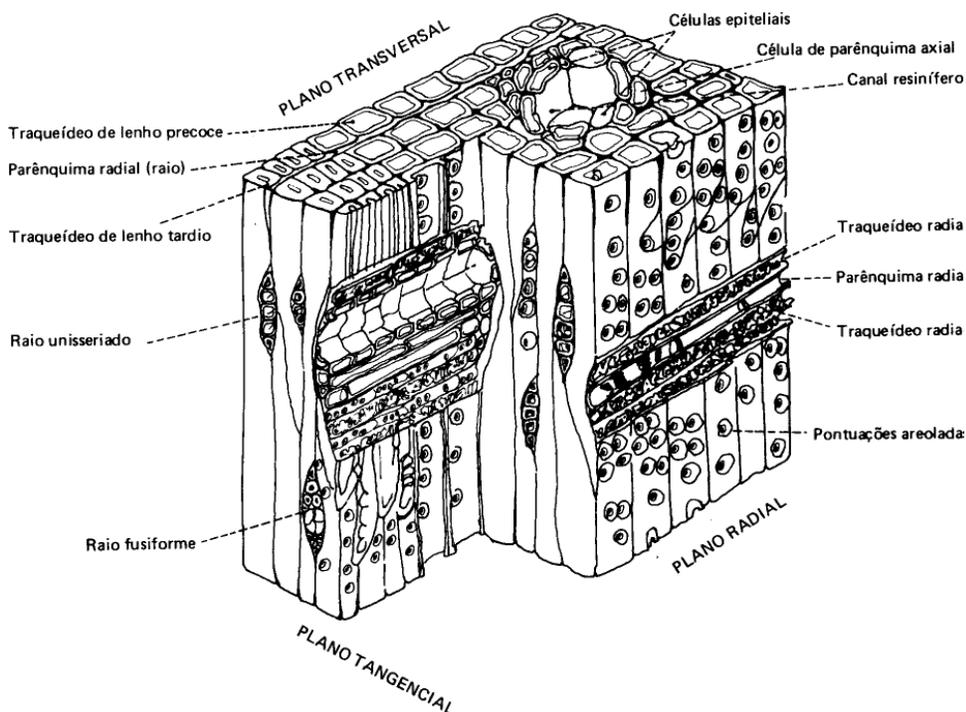


FIGURA 08 - ESQUEMA DA MADEIRA DE CONÍFERAS NOS TRÊS PLANOS DE OBSERVAÇÃO (CHIMELO, 1989).

Cinco tipos de pontuações são reconhecidos nos campos de cruzamento em coníferas de acordo com BURGER & RICHTER (1991) e WHEELER (2000), e são os seguintes:

1. Fenestriforme - ocorre em madeira de *Pinus* spp. macios, usualmente 1 ou 2 pontuações grandes, na forma de janelas, por campo de cruzamento.
2. Pinóide - encontrada em madeira de *Pinus* spp. duros, 3 ou 4 pontuações por campo.
3. Piceóide - característico de gêneros como *Picea*, *Larix* e *Pseudotsuga*. As pontuações são muito pequenas e as aberturas estendidas ultrapassam as bordas.
4. Cupressóide - encontradas em *Cupressaceae* e *Tsuga* spp. Geralmente pequenas, com a abertura mais estreita que as bordas.

5. Taxodióide - grandes em algumas espécies, e pequenas em outras como em *Thuja* spp. A abertura é relativamente grande enquanto as bordas são relativamente pequenas. Algumas espécies como *Taxodium distichum* podem apresentar uma mistura de pontoações taxodióide e cupressóide, ou parecerem intermediária entre os dois tipos.

4.5 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

Em relação a composição química elementar da madeira, pode-se afirmar que não há diferenças consideráveis, levando-se em conta as madeiras de diversas espécies (FENGEL & WEGENER, 1989).

Os principais elementos existentes são o Carbono (C), o Hidrogênio (H), o Oxigênio (O) e o Nitrogênio (N), este em pequenas quantidades.

A análise da composição química elementar da madeira de diversas espécies, coníferas e folhosas, demonstram a composição porcentual em relação ao peso seco da madeira, apresentada na Tabela 08, segundo vários pesquisadores (BROWNING, 1967; IPT, 1988; FENGEL & WEGENER, 1989 e SJÖSTRÖM, 1981).

TABELA 08 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR DA MADEIRA

Elemento	Porcentagem
Carbono	49 - 50
Hidrogênio	6
Oxigênio	44 - 45
Nitrogênio	0,1 - 1

Fonte: FENGEL & WEGENER, (1989).

Além destes elementos, encontram-se pequenas quantidades de sais de Cálcio (Ca), Potássio (K), Magnésio (Mg) e outros, constituindo as substâncias minerais existentes na madeira.

4.5.1 Substâncias macromoleculares

Do ponto de vista da análise dos componentes da madeira, uma distinção precisa ser feita entre os principais componentes macromoleculares constituintes da parede celular:

- Celulose
- Polioses (hemiceluloses) e
- Lignina.

Estes estão presentes em todas as madeiras, enquanto que os componentes minoritários de baixo peso molecular, extrativos e substâncias minerais, são geralmente mais relacionados a madeira de certas espécies, no tipo e quantidade. As proporções e composição química da lignina e polioses diferem em coníferas e folhosas, enquanto que a celulose é um componente uniforme da madeira (FENGEL & WEGENER, 1989).

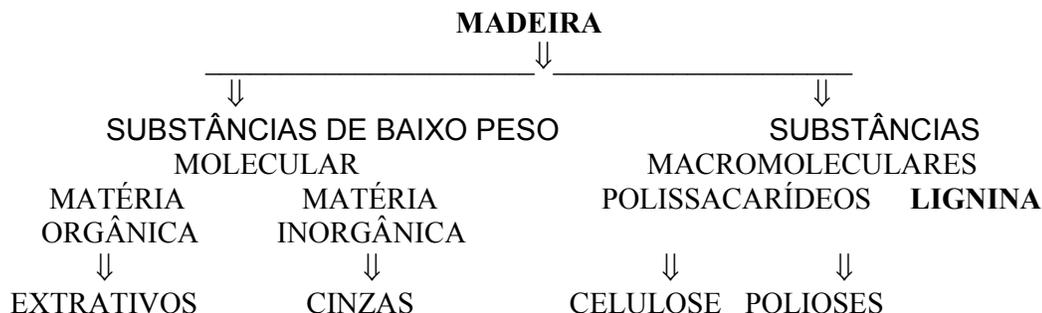
A Tabela 09 apresenta a composição média de madeiras de coníferas e folhosas de acordo com FENGEL & WEGENER (1989).

TABELA 09 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DE MADEIRAS DE CONÍFERAS E FOLHOSAS DE ACORDO COM FENGEL & WEGENER (1989).

Constituinte	Coníferas	Folhosas
Celulose	42 ± 2%	45 ± 2%
Polioses	27 ± 2%	30 ± 5%
Lignina	28 ± 2%	20 ± 4%
Extrativos	5 ± 3%	3 ± 2%

Em madeiras oriundas de zonas temperadas, as porções dos constituintes alto poliméricos da parede celular, somam cerca de 97 a 99% do material madeira. Para madeiras tropicais este valor pode decrescer para um valor médio de 90%. A madeira é constituída de cerca de 65 a 75 % de polissacarídeos.

Segundo FENGEL & WEGENER (1989), a composição química da madeira é dividida conforme o esquema a seguir:



4.5.1.1 Celulose

É o componente majoritário, perfazendo aproximadamente a metade das madeiras tanto de coníferas, como de folhosas. Pode ser brevemente caracterizada como um polímero linear de alto peso molecular, constituído exclusivamente de β -D-glucose. Devido a suas propriedades químicas e físicas, bem como à sua estrutura supra molecular, preenche sua função como o principal componente da parede celular dos vegetais (WENZL 1970; IPT, 1988; FENGEL & WEGENER, 1989).

4.5.1.2 Polioses (hemiceluloses)

Estão em estreita associação com a celulose na parede celular. Cinco açúcares neutros, as hexoses : glucoses, manose e galactose; e as pentoses : xilose e arabinose, são os principais constituintes das polioses. Algumas polioses contém adicionalmente ácidos urônicos. As cadeias moleculares são muito mais curtas que a de celulose, podendo existir grupos laterais e ramificações em alguns casos WENZL (1970). As folhosas, de maneira geral, contém maior teor de polioses que as coníferas, e a composição é diferenciada (IPT, 1988; FENGEL & WEGENER, 1989).

4.5.1.3 Lignina

É a terceira substância macromolecular componente da madeira. As moléculas de lignina são formadas completamente diferente dos polissacarídeos, pois são constituídas por um sistema aromático composto de unidades de fenil-propano. Há maior teor de lignina em

coníferas do que em folhosas, e existem algumas diferenças estruturais entre a lignina encontrada nas coníferas e nas folhosas.

Do ponto de vista morfológico a lignina é uma substância amorfa localizada na lamela média composta, bem como na parede secundária. Durante o desenvolvimento das células, a lignina é incorporada como o último componente na parede, interpenetrando as fibrilas e assim fortalecendo e enrijecendo as paredes celulares (IPT 1988; FENGEL & WEGENER, 1989).

FOELKEL (1976), determinou em estudo com algumas espécies de coníferas: *Araucaria angustifolia* de idade indeterminada; *Pinus elliottii* com 8 anos; *Pinus taeda* com 11 anos; *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 8 anos; todas plantadas no Brasil, e ainda com *Pinus elliottii* de 18 anos e *Pinus taeda* de 16 anos, essas plantadas nos Estados Unidos da América, resultados do teor de lignina na madeira, que variaram em média de 27,2 a 29,8 % enquanto que isoladamente para *Pinus taeda* obteve 28,8%.

IPT (1988), relaciona valores médios do teor de lignina determinado para *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de várias idades, numa variação entre 26,1 a 33,4%.

4.5.2 Substâncias poliméricas secundárias

Estas são encontradas na madeira em pequenas quantidades, como amidos e substâncias pécticas. Proteínas somam pelo menos 1% das células parenquimáticas da madeira, mas são principalmente encontradas nas partes não lenhosas do tronco, como o câmbio e casca interna (IPT, 1988; FENGEL & WEGENER, 1989).

4.5.3 Substâncias de baixo peso molecular

Junto com os componentes da parede celular existem numerosas substâncias que são chamadas de materiais acidentais ou estranhos da madeira. Estes materiais são responsáveis muitas vezes por certas propriedades da madeira como: cheiro, gosto, cor, etc. Embora estes componentes contribuam somente com uma pequena porcentagem da massa da madeira, podem apresentar uma grande influência nas propriedades e na qualidade de processamento

das madeiras. Alguns componentes, tais como os íons de certos metais são mesmo essenciais para a árvore viva (WENZL,1970; IPT, 1988; FENGEL & WEGENER, 1989).

As substâncias de baixo peso molecular pertencem a classes muito diferentes em termos de composição química e portanto há dificuldades em se encontrar um sistema claro e compreensivo de classificação.

Uma classificação simples pode ser feita dividindo-se estas substâncias em material orgânico e inorgânico, o material orgânico é chamado de extrativos, e a parte inorgânica é sumariamente obtida como cinzas, FENGEL & WEGENER (1989),.

No que concerne a análise é mais útil a distinção entre as substâncias na base de suas solubilidades em água e solventes orgânicos.

Segundo IPT (1988) e FENGEL & WEGENER (1989), os principais grupos químicos que compreendem as substâncias de baixo peso molecular são:

a. Compostos aromáticos (fenólicos) - as substâncias mais importantes deste grupo são os compostos tanínicos que podem ser divididos em : taninos hidrolisáveis e flobafenos condensados, além de outras substâncias como estilbenos, lignanas e flavonóides e seus derivados.

b. Terpenos - englobam um grande grupo de substâncias naturais, quimicamente podem ser derivados do isopreno. Duas ou mais unidades de isopreno constituem os mono - sesqui - di - tri - tetra e politerpenos.

c. Ácidos alifáticos - ácidos graxos saturados e insaturados são encontrados na madeira principalmente na forma dos seus ésteres com glicerol (gordura e óleo) ou com álcoois (ceras). O ácido acético é ligado as polioses como um grupo éster. Ácido di e hidroxicarboxílico ocorrem principalmente como sais de cálcio.

d. Álcoois - a maioria dos álcoois alifáticos na madeira ocorrem com componentes éster, enquanto que os esteróis aromáticos, pertencentes aos esteróides, são principalmente encontrados como glicosídeos.

e. Substâncias inorgânicas - os componentes minerais das madeiras são predominantemente Ca, K e Mg.

f. Outros componentes - mono e dissacarídeos são encontrados na madeira somente em pequenas quantidades, mas ocorrem em altas porcentagens no câmbio e na casca interna. Pequenas quantidades de aminas e eteno são também encontrados na madeira.

4.5.3.1 Formação e função dos extrativos

Todos os compostos formados na madeira originam-se da fotossíntese. Os extrativos são resultados de modificações sofridas pelos carboidratos no processo fisiológico da árvore. Os locais de formação e posterior deslocamento para um local definitivo na madeira dependem da função do extrativo. Se o extrativo consiste numa substância de reserva, seu teor atinge um valor máximo pouco antes de se iniciar a estação desfavorável e passa pelo seu mínimo ao final desta estação (BROWNING, 1967; SJÖSTRÖM, 1981; IPT, 1988; FENGEL & WEGENER, 1989).

Os alimentos de reserva da planta se localizam nas células de parênquima, principalmente dos raios, onde podem-se deslocar no sentido radial para atender as necessidades de células com deficiência em nutrientes e em energia.

Os terpenos e os ácidos resinosos possuem função de proteção e são produzidos pelas células epiteliais, que circundam o canal de resina na madeira de coníferas. Canais de resinas são extremamente comuns em espécies de *Pinus*, principalmente em *Pinus elliottii*.

As células epiteliais produzem a resina, que por extrusão é lançada no canal de resina contribuindo para se gerar uma pressão osmótica que causa o fluxo da mesma. As resinas se encaminham para as partes feridas das árvores com a finalidade de criar uma barreira à penetração dos agentes estranhos, principalmente microrganismos.

Os monoterpenos causam na resina uma diminuição da viscosidade para que ela flua até a ferida, quando a alcança e entra em contato com o ar, os monoterpenos se volatilizam. Sobre a ferida permanece uma resina viscosa rica em ácidos resinosos (diterpenos), que é chamada oleoresina ou simplesmente resina, WENZL (1970).

Quando ocorre a transformação do alborno para cerne na madeira de coníferas, as células perdem a vitalidade e o teor de umidade do cerne passa a cair. Para evitar um ressecamento e trincamento desta região, a árvore preenche o cerne de ácidos resinosos que passam a ocupar os espaços vazios deixados. Nas folhosas, ocorre um fenômeno semelhante que é a obstrução de vasos por intrusão de tiloses formadas pelas células de parênquima adjacentes. Neste caso, porém, as substâncias não são ácidos resinosos, mas sim gorduras e óleos. (SJÖSTRÖM, 1981; FENGEL & WEGENER 1989).

A função dos ácidos resinosos, no caso, é mais de proteção física. Entretanto, os cernes de muitas árvores, mostram excepcional resistência ao ataque de microrganismos

devido a presença de extrativos do tipo polifenóis. A remoção dos polifenóis da madeira para análise é difícil, recomendando-se extração com acetona para se obter relativo sucesso. Na maioria das espécies são formados e se localizam na casca, podendo migrar para o interior da madeira WENZL (1970).

4.5.3.2 Localização dos extrativos

Os extrativos da madeira de coníferas localizam-se principalmente nos canais de resina, em células de parênquima e no cerne, embora estejam também presentes nas cavidades celulares, principalmente os solúveis na água (SJÖSTRÖM, 1981).

Muitas madeiras de coníferas contêm canais resiníferos, tanto na direção axial como radial. As resinas que são geradas pelas células epiteliais, que delimitam os canais intercelulares (canais de resinas) são também conhecidas como oleoresinas. A oleoresina dos canais resiníferos do alburno estão freqüentemente sob alta pressão e podem ser exudadas rapidamente em pontos de injúrias no tronco da árvore. O diâmetro dos canais resiníferos em espécies do gênero *Abies*, *Larix* e *Picea* é de 30-100 μm , enquanto que canais mais largos são encontrados nas espécies do gênero *Pinus* (10-160 μm), alcançando ocasionalmente 300 μm .

Cerca de 50% da oleoresina de algumas coníferas constituem-se de ácidos resinosos, 20 a 30% são monoterpenos voláteis, e o restante, terpenóides e ésteres de ácidos graxos. A oleoresina de pinho contém maior porcentagem de ácidos resinosos (70 - 80%) (WENZL, 1970; FENGEL & WEGENER, 1989).

Mais de 95% das células de parênquima em madeira de coníferas, estão associadas com o raio da madeira (parênquima radial). No alburno, essas células mantêm suas funções vitais até que este seja transformado em cerne. A atividade respiratória das células vivas do parênquima implica em consumo de oxigênio e liberação de CO_2 .

A resina nas células de parênquima é composta principalmente de ésteres de ácidos graxos (gorduras e ceras) e esteróides. Quando a madeira é cozida para fabricação de polpa celulósica, estas substâncias permanecem encapsuladas dentro das células de parênquima, enquanto que a oleoresina se dispersa no licor. Isto é particularmente verdadeiro no caso das células do parênquima de abeto, que possuem pontoações diminutas e paredes celulares rígidas. Células de parênquima de pinheiros possuem pontoações maiores e liberam suas resinas mais prontamente (BROWNING, 1967; WENZL, 1970).

As células do raio das madeiras de coníferas chegam a conter 20% de seu peso como extrativos (SJÖSTRÖM, 1981; FENGEL & WEGENER, 1989).

Com a morte da maioria das células de parênquima, inicia-se a formação do cerne, e muitas mudanças químicas ocorrem. Como consequência, grandes quantidades de extrativos são geradas, os quais penetram através do cerne incluindo os traqueóides. Nesse período a síntese de substâncias fenólicas específicas, com características fungicidas e o conteúdo de extrativos, pode elevar-se de 4 para 12-14%, nas espécies do gênero *Pinus*. A maioria dos polifenóis estão localizados no cerne SJÖSTRÖM (1981), FENGEL & WEGENER (1989).

FOELKEL (1976), determinou em estudo com algumas espécies de coníferas: *Araucaria angustifolia*; *Pinus elliottii*, *Pinus taeda*; *Pinus caribaea* var. *hondurensis* plantadas no Brasil, e ainda com *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, essas plantadas nos Estados Unidos; resultados que variaram em média, para a solubilidade em água fria de 1,3 a 1,8%, em água quente de 1,8 a 2,9%, em NaOH a 1%, de 7,1 a 11,0%, em álcool benzeno, de 1,7 a 4,8%. Isoladamente a madeira de *Pinus taeda*, apresentou 1,8% e 2,7% de solubilidade em água fria e quente, 8,0% de solubilidade em NaOH 1%, e 2,1% em álcool benzeno.

IPT (1988), apresenta os valores da solubilidade da madeira de *Pinus elliottii*, plantado em São Paulo, *Pinus elliottii* plantado nos Estados Unidos e de *Araucaria angustifolia*, que foram em água fria 1,7% para as duas procedências de *Pinus* sp., não determinada para a Araucária, em água quente as três espécies apresentaram igual solubilidade, 2,5%; em álcool benzeno, os valores variaram de 0,9 a 2,6%, e em solubilidade em NaOH a 1%, de 8,4 a 10,6%.

4.5.3.3 Compostos inorgânicos e substâncias pécicas

Um número de constituintes minerais são necessários para o crescimento das plantas. Tais constituintes retirados do solo, são encontrados na madeira. A composição do material encontrado na madeira, dependem das condições ambientais sob as quais a árvore cresce e da localização do mineral na planta (BROWNING, 1967; SJÖSTRÖM, 1981; IPT, 1988; FENGEL & WEGENER, 1989).

Os constituintes minerais compreendem principalmente potássio e cálcio, que constituem até 50% dos cátions na cinza da madeira; também são encontrados magnésio, manganês, sódio, fósforo e cloro, assim como sílica no caso de florestas tropicais. Os ânions

mais comuns são os carbonatos, fosfatos, silicatos e sulfatos SJÖSTRÖM (1981); FENGEL & WEGENER (1989).

Em geral madeiras crescendo naturalmente em zonas temperadas contém de 0,2 a 0,9% e quase sempre menos de 0,5% de cinzas, enquanto que madeiras de zonas tropicais podem conter até 5% de cinzas (SJÖSTRÖM, 1981; FENGEL & WEGENER 1989).

FOELKEL (1976), encontrou em espécies de coníferas valores médios entre 0,3 a 0,4%. IPT (1988), apresenta valores de 0,2 a 0,3% para espécies de coníferas.

As substâncias pécnicas são essencialmente polímeros de ácido galactourônico não extraíveis em solventes orgânicos neutros.

4.6 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

A utilização intensiva da madeira como matéria-prima para fins industriais ou construtivos só pode ocorrer a partir do conhecimento adequado de suas propriedades. Por ser um elemento orgânico heterogêneo, composto basicamente de celulose, polioses, lignina e extrativos, apresenta uma versatilidade enorme de usos para obtenção de uma série de produtos.

O aprimoramento no emprego de novas tecnologias para transformação e uso racional da madeira na geração de novos produtos, requer o conhecimento adequado de suas características e comportamento como matéria-prima. Sendo um recurso natural renovável, de suprimento praticamente inesgotável, continuará tendo possibilidades de utilização infindáveis.

4.6.1 Massa específica da madeira

A massa específica é uma das propriedades físicas mais importantes da madeira porque esta relacionada diretamente com propriedades como resistência mecânica, grau de alteração dimensional e perda ou absorção de água. Dela dependem a maior parte das qualidades físicas e tecnológicas, servindo na prática como parâmetro para classificação de madeiras.

A massa específica é importante, pois permite tirar conclusões a respeito da adaptabilidade da madeira como material de construção. Esta é a causa da madeira ser procurada para fins estruturais, devido à boa relação de resistência/peso que apresenta (TRENDELENBURG & MAYER-WEGELIN, 1956).

A massa específica reflete a quantidade de matéria lenhosa por unidade de volume, ou do volume de espaços vazios existentes em uma madeira. Segundo KOLLMANN (1959), a massa específica real da matéria lenhosa para todas as madeiras é de $1,56 \text{ g.cm}^{-3}$, com variações insignificantes.

Para BROWN et al. (1952), a definição massa por unidade de volume é mais exata e independe da posição no espaço. Já a razão peso por volume depende da gravidade.

A massa específica pode ser determinada pelo quociente da massa considerada (m) pelo volume correspondente (V).

$$\rho = m \div V$$

Onde:

$$\rho = \text{massa específica (kg.m}^{-3}\text{)}$$

$$m = \text{massa (kg)}$$

$$V = \text{volume (m}^3\text{)}$$

No Sistema Internacional, a massa é medida em kg e o volume, em m^3 .

Outras unidades utilizadas são o g.cm^{-3} e g.l^{-1} .

4.6.1.1 Massa específica aparente da madeira

A massa específica é influenciada pelo teor de umidade da madeira. Comparações entre espécies devem, portanto, ser realizadas a um mesmo teor de umidade, KOLLMANN (1959).

A massa específica aparente está relacionada a um teor de umidade, por exemplo:

$$\rho_{ap12} = m_{12} \div V_{12} \quad \text{para a massa específica aparente a 12\% de umidade;}$$

$$\rho_{ap15} = m_{15} \div V_{15} \quad \text{para a massa específica aparente a 15\% de umidade, e}$$

$$\rho_{ap0} = m_0 \div V_0 \quad \text{para a massa específica aparente a 0\% de umidade.}$$

Nesta última, há grande dificuldade em manter-se condições na câmara de secagem, e ainda, há a necessidade de medidas rápidas, para que a madeira não reabsorva umidade.

Existe ainda uma outra forma de determinação, de grande vantagem em estudos teóricos e comparações, denominada Massa Específica Básica KOLLMANN (1959). É obtida pelo quociente entre a massa da madeira seca a 0%, pelo volume verde da peça:

$$\rho_b = m_0 \div V_{\text{verde}}$$

4.6.1.2 Fatores que afetam a massa específica na madeira

Sendo a madeira um material orgânico, heterogêneo, poroso e higroscópico sofre a influência de diversos fatores que atuam na organização de sua estrutura interna, determinando variações na sua massa específica, podendo-se citar:

Espécie:

As espécies apresentam grande variabilidade na sua estrutura interna. Deste modo, diferentes espécies possuem massas específicas diferentes. As diferenças de arranjo dos tecidos, dimensões do lume das células e espessura das paredes celulares determinam valores próprios de massa específica para cada espécie de madeira. Salienta-se que a resistência da madeira está estreitamente relacionada com sua massa específica (PARKER, 1979).

Esta variabilidade em valores de massa específica pode ocorrer ainda dentro de uma mesma espécie, dependendo da região onde árvore cresce. Portanto os valores de massa específica representam valores médios para a espécie, sendo importante, quando da sua determinação, uma amostragem adequada de árvores.

Segundo TRENDELENBURG & MAYER-WEGELIN (1956), a grande variabilidade da madeira pode ser expressa pelas variações da massa específica. Esta afirmação é corroborada por vários autores KOLLMANN (1959); BROWN et al. (1952); KNIGGE & SCHULTZ (1966); KOLLMANN & CÔTÉ (1968); KREMPL (1977); BENDTSEN (1978) e DESCH (1982).

Teor de Umidade:

A determinação da massa específica depende do peso do material tomado a um certo teor de umidade. Variações do teor de umidade causam variações do peso da peça de madeira. Deste modo é fácil perceber a alta influência que o teor de umidade exerce sobre a massa

específica. Também o volume poderá sofrer alteração devido a contrações ou inchamento da peça de madeira, KOLLMANN (1959).

Lenho inicial e lenho tardio:

Em muitas espécies florestais de clima temperado, existe diferenciação na velocidade de crescimento das árvores, influenciada pela variação das condições climáticas. Em períodos com maior disponibilidade de luz, calor e água no solo (primavera-verão), a planta apresenta intenso crescimento vegetativo, desenvolvendo células de paredes finas, lume grande e, no conjunto, uma coloração mais clara e, em consequência, de menor massa específica. No final do período vegetativo (outono-inverno) a planta reduz sua atividade vital, resultando em células de paredes espessas, lume pequeno e aspecto mais escuro, com maior massa específica (PANSWIN & ZEEUW, 1970).

Esta distinção no crescimento do lenho, mais evidenciado em coníferas, exerce importante influência na massa específica média da árvore. Em folhosas, o contraste entre massas específicas dos lenhos inicial e tardio é menos evidente.

Embora a massa específica constitua-se numa medida que reflete a somatória de inúmeras variáveis através dos anéis de crescimento (KOCH, 1972), vários estudos têm demonstrado sua relação direta com o teor de lenho tardio (RISI & ZELLER, 1960; SCHNIEWIND, 1961; ZOBEL & RHODES, 1965; SCARAMUZZI, 1965; NYLINDER, 1973; TATARANU, 1973; GUTH 1974 e KLOCK 1989).

KOLLMANN & CÔTÉ (1968), afirmam que, como regra geral, a grande variabilidade na massa específica da madeira de coníferas depende mais da variabilidade da porcentagem de lenho tardio do que da variabilidade nas massa específica individuais dos lenhos inicial e tardio.

Posição no Tronco:

A árvore em geral forma anéis de crescimento mais largo no seu interior, próximo a medula, e anéis estreitos na parte mais externa, próximo a casca. Ocorrem variações de porcentagem de lenho inicial e lenho tardio, resultando em variações da densidade de massa.

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

Ao longo do tronco existem ainda grandes variações da massa específica, encontrando-se um valor máximo na base do tronco, onde são requeridos tecidos de sustentação mais rígidos. A massa específica decresce a medida que se distancia da base em direção a copa, SPURR & HSIUNG (1954). Tal variabilidade ocorre entre indivíduos no sentidos longitudinal e radial. As variações que ocorrem dentro das árvores, segundo VAN BUIJTENEN (1969) e BARRICHELO (1979), são geralmente as mais significativas.

Diversos autores têm-se preocupado com as variações da massa específica no tronco e realizaram estudos para verificar mudanças nos sentidos longitudinal e transversal da árvore (ZOBEL et al., 1959; KOLLMANN & CÔTÉ, 1968; ELLIOTT, 1970; BRASIL & FERREIRA, 1971; BARTZ, 1973; MONTAGNA et al., 1973; KLOCK, 1989 e MUÑIZ 1994).

Influências Externas:

O meio físico onde as árvores crescem podem exercer influência sobre a massa específica. Estas alterações podem ser motivadas por fatores de crescimento como o clima, tipo de solo, altitude, umidade do solo, espaçamento e associação de espécies. Podem ainda ser motivados por aplicação de técnicas silviculturais como: adubação, poda, desbaste, densidade do povoamento entre outros (ZOBEL et al., 1959; KOLLMANN & CÔTÉ, 1968; VAN BUIJTENEN, 1969; ELLIOTT, 1970; OHTA, 1981 e PEREIRA, 1982).

4.6.1.3 Umidade na Madeira

Em uma árvore recém abatida, grande parte de seu peso, e em alguns casos, a maior parte dele, é devido a água que se encontra preenchendo os espaços celulares e intercelulares do lenho, impregnando as paredes de suas células e participando de sua constituição química.

SEVERO (1998), citando Rasmussen, (1961); Pratt, (1986) e Simpson, (1991); afirma que em algumas madeiras pode ocorrer teor de umidade relativamente baixo como de 30%, enquanto que em outras o teor de umidade pode chegar a 200% ou mais. Sendo que grande variação pode ocorrer não somente entre espécies, mas também dentro da própria árvore.

A umidade exerce influência em grande parte das propriedades de resistência da madeira, afetando o seu grau de trabalhabilidade, reduzindo seu poder calorífico, afetando o rendimento e qualidade da celulose e propiciando maior susceptibilidade ao ataque de fungos (KOLLMANN, 1959).

Segundo WILSON (1932), o aumento da resistência da madeira com o decréscimo no teor de umidade, pode ser considerado resultado tanto do fortalecimento e rigidez dos elementos estruturais da madeira como da sua compactação, devida a retração que acompanha a perda de água.

STAMM (1962), afirma que quase todas as propriedades mecânicas da madeira têm seus valores aumentados com a diminuição do teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (28% de umidade), sendo que esse efeito se deve à contração da madeira, pois, ao se remover a umidade, as unidades estruturais (microfibrilas) se aproximam, aumentando significativamente a quantidade de ligações eletrostáticas entre si. Acima do ponto de saturação das fibras, mudanças no conteúdo de umidade não apresentam efeitos aparentes sobre a resistência da madeira (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968; GURFINKEL, 1973; CURRY & COVINGTON, 1974; LAVERS, 1974 e SUNLEY, 1974).

GERHARDS (1982), procurou sumarizar o efeito que o teor de umidade exerce nas diferentes propriedades mecânicas da madeira, buscando, dessa forma, obter relações ajustáveis às condições ambientais de umidade relativa. Suas observações levaram-no a concluir que o efeito da umidade é menor sobre as propriedades paralelas de módulo de elasticidade e resistência à tração do que sobre a resistência à compressão, enquanto que o módulo de rigidez, a resistência ao cisalhamento paralelo e a elasticidade perpendicular mostraram comportamentos semelhantes entre si, o mesmo acontecendo entre a resistência à compressão perpendicular no limite de proporcionalidade e a resistência à flexão estática.

LAVERS (1974), relata que, embora a mudança na resistência com a alteração no teor de umidade siga uma tendência similar para a maioria das propriedades de resistência, a magnitude varia de uma para outra. Por exemplo, a resistência à compressão usualmente altera-se mais que à flexão, que por sua vez muda mais que o módulo de elasticidade de flexão.

Segundo KOLLMANN & CÔTÉ (1968), a água contida na madeira pode ser classificada em dois tipos:

- Água livre ou capilar que se encontra principalmente no interior do lume das células, afetando principalmente o peso da madeira, e aderidas por forças capilares;
- Água de impregnação, que se encontra dentro da parede das células, impregnando os espaços submicroscópicos da parede celular, em camadas polimoleculares ligadas por forças eletrostáticas polares.

Quando a madeira seca, a primeira água a ser eliminada é a água livre. A retirada desta porção de água promove apenas redução de peso. Quando toda água livre é retirada chega-se a um teor de umidade denominado de Ponto de Saturação das Fibras (PSF) (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968).

O ponto de saturação das fibras é de grande importância prática, sendo atingido em média, quando a quantidade de água na madeira é de 30% (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968; SKAAR, 1972), contudo segundo resultados apresentados por BODIG & JAYNE (1993), o PSF pode na realidade variar entre 20 e 30 % de umidade, de acordo com a espécie de madeira, teor de extrativos e temperatura.

SEVERO (1998), citando autores como Walker et al. (1993) e Rasmussen (1961), afirma que em termos práticos, considera-se o ponto de saturação da fibras como 30% para todas as espécies.

A partir deste ponto começa a ser retirada a água de impregnação, que está na parede das células. Além da redução em seu peso a madeira se contrai, reduzindo seu volume. A saída de água de impregnação provoca importantes modificações estruturais na madeira, como a aproximação das fibrilas e micelas, conferindo maior rigidez a madeira.

Segundo BOTOSSO (1997), a contração é o fenômeno que se manifesta ao curso de uma desorção (secagem) quando a água adsorvida pelas paredes celulares (água de impregnação) começa a ser eliminada, o que acontece quando a teor de umidade da madeira é inferior ao ponto de saturação das fibras (PSF).

4.6.1.4 Determinação do teor de umidade na madeira

Segundo KOLLMANN, (1959) existem vários métodos para determinação do teor de umidade da madeira, o mais conhecido é o:

Método de pesagem:

Pesa-se uma amostra úmida de madeira, anotando-se seu peso (P_u). A amostra é, então colocada em estufa à temperatura de $102 \pm 3^\circ\text{C}$, até que fique completamente seca. Isto pode ser obtido por sucessivas pesagens até não haver mais variação no seu peso, o que indica que toda água foi eliminada, temos então o peso seco (P_o). Calcula-se então, o teor de umidade (U) pela fórmula apresentada anteriormente.

Este processo é dos mais exatos e muito utilizado em trabalhos de laboratório. Sua

exatidão depende da precisão da balança, da rapidez da pesagem da amostra seca e da manutenção da temperatura na estufa. Segundo KOLLMANN (1959), o maior inconveniente é o tempo necessário à secagem.

No caso de espécies que contenham resina, como *Pinus* sp., ocorrem erros na determinação do teor de umidade em razão da presença de substâncias voláteis, como os terpenos. BORTOLETTO & KLOCK, (2000), obtiveram diferenças significativas entre o teor de umidade determinado em estufa quando comparado pelo método de titulação de Karl Fischer para amostras de *Pinus elliottii*.

Os outros métodos utilizados para a determinação do teor de umidade são: dessecação mediante substâncias higroscópicas; secagem a vácuo; determinação do volume de água por destilação; além de métodos químicos, calorimétricos e elétricos (KOLLMANN, 1959).

O teor de umidade da madeira é expresso pela relação entre o peso de água contido em seu interior e o seu peso em estado completamente seco, expresso em porcentagem (KOLLMANN, 1959);

$$U = \frac{P_u - P_o}{P_o} \times 100$$

Onde:

U = teor de umidade da madeira (%)

P_u = peso da madeira úmida (g)

P_o = peso da madeira seca em estufa 102 ± 3°C, até peso constante de umidade(g).

Segundo KOLLMANN (1959), em alguns casos, dependendo da utilização o teor de umidade é expresso em relação ao peso úmido:

$$U = \frac{P_u - P_o}{P_u} \times 100$$

4.6.1.5 Umidade de equilíbrio da madeira

A madeira como já mencionado, é um material higroscópico.

Higroscopicidade é a capacidade da madeira absorver água e mantê-la na sua estrutura íntima, dentro da parede celular. Se uma madeira verde é colocada em uma estufa a alta

temperatura, após um certo tempo, toda água é evaporada (água capilar e de impregnação). A madeira perde peso e volume (contraí) e o teor de umidade chega a zero. Retirando-se a madeira da estufa e colocando-a em contato com o ambiente, ela volta a adquirir água. A água é retirada do ambiente, ou seja, do vapor de água que existe no ar. A madeira é portanto higroscópica, adquire água do ambiente e, com a aquisição de água aumenta seu peso e seu volume (incha).

Portanto a madeira adquire ou perde água dependendo da umidade relativa do ar. O teor de umidade em que a madeira se encontra em equilíbrio com a umidade relativa e a temperatura do ar é chamada de Umidade de Equilíbrio da Madeira (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968 e SKAAR, 1972).

4.6.2 Contração e inchamento da madeira

A contração e o inchamento da madeira, são propriedades importantes para a avaliação da qualidade da madeira (BOTOSSO, 1997).

A contração condiciona as deformações das peças de madeira durante o processo de secagem, sendo portanto responsável pelos problemas apresentados pela madeira, que são resultantes das deformações devidas as perdas de umidade em função das variáveis higrométricas da atmosfera ambiente.

Estas particularidades do comportamento na secagem da madeira, originam-se de uma das principais características do material madeira, que é seu caráter higroscópico, sendo que todas as propriedades, em particular a massa específica, mudam notavelmente pela ação da umidade.

A madeira é portanto um material altamente higroscópico, podendo absorver grandes quantidades de vapor d'água do ar ambiente, ou perder água, de maneira a entrar em equilíbrio com a atmosfera ambiente, (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968).

O inchamento da madeira é um fenômeno que se produz ao curso da adsorção de água, ou seja, a fixação de água ao nível molecular (na superfície interna do corpo), e se manifesta entre o estado completamente seco e um valor aproximado de 30% de umidade.

Segundo Goulet & Fortin (1975), citados por BOTOSSO (1997), a água mais fortemente aderida é a água de constituição, presente na forma de hidroxilas (OH), porém a adsorção de água propriamente dita é um fenômeno físico que compreende 3 fases distintas: a

adsorção molecular, a adsorção multimolecular e a condensação capilar. A primeira se finda a uma umidade relativa do ambiente de 20%, seguindo-se a adsorção multimolecular, que termina a uma umidade relativa de 90%. Quanto a condensação capilar nas membranas, se produz na maior parte entre umidade relativa de 90 e 99,5%.

A saturação da matéria madeira com água é obtida em atmosfera com umidade relativa de 100%, segundo STAMM (1964) e KOLLMANN & CÔTÉ (1968).

O inverso, ou seja, a perda de umidade (denominada de desorção), ocorre na secagem da madeira saturada, que acontece quando a condição ambiental ou a pressão de vapor d'água é inferior àquela do interior da madeira. Primeiramente ocorre a evaporação da água livre, e sucessivamente a água de ligação. A água de condensação capilar é evaporada primeiro, em seguida a água de adsorção multimolecular e por fim a água de adsorção monomolecular, até o estado da madeira seco ou anidro. As forças de retenção são mais fortes na medida que a umidade da madeira diminui, BOTOSSO (1997).

4.6.2.1 Caracterização da anisotropia de contração

O fenômeno de contração apresenta um caráter bastante peculiar na madeira em função de que difere sensivelmente nos sentidos de corte numa mesma peça, em razão da característica fortemente anisotrópica da madeira.

Por consequência, as modificações dimensionais que aparecem ao longo do curso da secagem da madeira não apresentam a mesma magnitude em relação as direções tangencial, radial e longitudinal. De fato, a contração na direção tangencial é geralmente mais elevada que a contração radial, sendo geralmente a anisotropia de contração (β_t/β_r) variável entre 1 e 2. Já ao se considerar a direção longitudinal, a contração é negligenciável, a exceção de casos particulares como a madeira de compressão ou da madeira juvenil de coníferas. Desta forma, de acordo com a intensidade das variações dimensionais nas três direções tangencial, radial e longitudinal, podem provocar vários tipos de deformações nas peças serradas de madeira, (BOTOSSO, 1997).

A literatura concernente aos valores da contração nas três direções é bastante vasta, e referem-se a muitas espécies (KEYLWERTH, 1951; KOLLMANN & CÔTÉ, 1968; SKAAR, 1972; KLOCK, 1989; MUÑIZ, 1993 e BOTOSSO, 1997), entre outros.

A contração aumenta com a redução da umidade e a contração máxima ocorre quando a umidade da madeira é igual a zero. As contrações resultam em diminuição do volume. Sendo a madeira material anisotrópico, as contrações são diferentes entre si, dependendo do eixo anatômico considerado; a maior contração é a tangencial e a menor é a longitudinal, sendo praticamente desprezível (BOTOSSO, 1997).

Segundo SKAAR (1972), a ordem de grandeza da contração entre o ponto de saturação das fibras e o estado completamente seco, para as madeiras normais da maioria das espécies (folhosas e coníferas), varia entre 6,0 e 12,0% para a contração tangencial, 3,0 a 6,0% para a contração radial e 0,1 a 3,0% para a contração longitudinal.

Segundo KOLLMANN (1959), as contrações ou inchamentos máximos lineares somados aproximam-se da contração ou inchamento volumétrico máximo, isto é, no intervalo do estado completamente seco ao ponto de saturação das fibras.

A contração volumétrica máxima pode ser obtida pela fórmula:

$$\beta_{\max} = \frac{V_u - V_o}{V_u} \times 100$$

Onde:

β_{\max} = contração máxima volumétrica (%)

V_u = volume da madeira em estado úmido.

V_o = volume da madeira em estado completamente seco.

Para determinação das contrações nas dimensões lineares (tangencial, radial e longitudinal) os valores da equação são substituídos pelos valores lineares correspondentes, na equação geral:

$$\beta_{\max} = \frac{L_u - L_o}{L_u} \times 100$$

Onde:

β_{\max} = contração máxima linear (%)

L_u = medida linear em estado úmido.

L_o = medida linear no estado completamente seco.

O inchamento máximo de uma madeira é dado pela diferença entre suas dimensões em

estado saturado, acima do ponto de saturação da fibras, e suas dimensões em estado completamente seco.

$$\alpha_{\max} = \frac{V_u - V_o}{V_o} \times 100$$

Onde:

α_{\max} = máximo inchamento volumétrico (%)

V_u = volume da madeira em estado úmido

V_o = volume da madeira em estado completamente seco.

Na determinação dos inchamentos máximos lineares (tangencial, radial e longitudinal) aplicamos os valores correspondentes a equação geral:

$$\alpha L_{\max} = \frac{L_u - L_o}{L_o} \times 100$$

Onde:

αL_{\max} = inchamento máximo linear (%)

L_u = medida linear em estado úmido.

L_o = medida linear em estado completamente seco.

A diferença de contração nos diferentes eixos é chamada de Anisotropia de Contração e tem grande importância prática (KOLLMANN, 1959)

A anisotropia de contração é calculada pela relação entre a contração tangencial e a contração radial, usando a seguinte equação:

$$A_c = \frac{\beta_t}{\beta_r}$$

Onde:

A_c = anisotropia de contração

β_t = máxima contração tangencial (%)

β_r = máxima contração radial (%)

Madeiras com alta anisotropia, por exemplo, com um valor maior que 2 geralmente são difíceis de secar. Como regra geral pode ser dito que madeiras que contraem menos são

mais estáveis.

Devido a esse fenômeno (anisotropia) alterações nas dimensões tangenciais, radiais e longitudinais manifestam-se durante o processo de secagem ou acondicionamento da madeira, ocasionando defeitos como: curvaturas, torções, rachaduras, abaulados e empenamentos.

O fator ideal de anisotropia seria igual a 1, o que indicaria uma alteração nula ou idêntica nas dimensões nos sentidos tangencial e radial. Quanto maior o desvio entre os movimentos dimensionais nesses dois sentidos, mais alto será a anisotropia de contração, e mais prejudicado será o comportamento da madeira durante a secagem.

A grande diferença na grandeza de contração ou inchamento nos três sentidos de crescimento deve-se à estrutura anatômica microscópica e submicroscópica da madeira. A razão da pequena alteração das dimensões no sentido longitudinal em comparação as demais, é explicada por estarem a maioria dos elementos estruturais constituintes da madeira organizados verticalmente, o que faz com que o número de paredes por cm^2 seja bem menor neste sentido.

Segundo BOTOSSO (1997), muitos estudos encontrados na literatura, referentes aos mecanismos considerados como responsáveis pela anisotropia de contração, são contraditórios em suas conclusões e tratam de vários aspectos como a interação lenho inicial e tardio, a influência dos raios na madeira, a geometria das paredes celulares e sua composição química, particularmente o conteúdo de lignina e a inclinação microfibrilar nas paredes celulares.

O CENTRO TÉCNICO DE EVALUACION FORESTAL (1972), apresenta contrações máximas volumétrica e lineares, e anisotropia de contração da madeira de *Pinus maximinoi*, de árvores com idades entre 28 e 34 anos; de 10,8% para a contração máxima volumétrica, 8,0% para a contração máxima tangencial; 3,8% para a contração máxima radial, 0,1% para a contração longitudinal, e para a anisotropia de contração de 2,146.

MUÑIZ (1993), obteve os seguintes valores médios obtidos para a madeira de *Pinus taeda*, de árvores com 30 anos de idade: 9,30% para a contração máxima volumétrica; 5,89% para a contração máxima tangencial; 3,01% para a contração máxima radial; 0,32% para a contração máxima longitudinal, e 1,95 para a anisotropia de contração; para madeira juvenil. A madeira adulta apresentou contrações volumétrica e lineares estatisticamente superiores, que foram de 13,38; 7,61 e 4,77%, respectivamente; já a contração longitudinal e a

anisotropia de contração foram significativamente menores na madeira adulta, 0,18% e 1,60 respectivamente. Valores ligeiramente inferiores foram verificados para a madeira de *Pinus elliottii* no mesmo estudo.

TOMASELLI (1980), determinou para a madeira juvenil de *Pinus taeda*, *Pinus elliotti* e *Araucaria angustifolia*, anisotropia de contração superiores a da madeira adulta, o contrário acontecendo para as contrações máximas, que foram inferiores na madeira juvenil. A mesma tendência foi observada por KLOCK (1989), em seu estudo com *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Os resultados indicam a tendência das contrações volumétrica, tangencial e radial, se elevarem na madeira adulta, enquanto acontece o contrário para a contração longitudinal e para a anisotropia de contração.

BODIG & JAYNE (1993), citando U.S. Forest Products Laboratory, (1974), relaciona contrações máximas volumétricas entre 8,2 e 12,3%; contrações máximas tangenciais entre 5,6 e 7,6 % e radiais entre 2,1 e 5,4%, para várias espécies do gênero *Pinus* dos Estados Unidos da América.

4.7 RESISTÊNCIA DA MADEIRA

4.7.1 Propriedades mecânicas da madeira

As propriedades mecânicas e elásticas da madeira podem fornecer, do mesmo modo que as propriedades físicas, informações muito valiosas sobre a qualidade para a industrialização da madeira.

No Brasil, as florestas implantadas com madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, que atualmente completam ciclos de mais de 30 anos de idade, na sua maior parte, possuem suas propriedades e potencialidades de uso pouco conhecidas, MUÑIZ (1993).

A base para determinação das propriedades são as normas técnicas. Nelas se prescrevem os métodos exatos de condução de processos de amostragem e execução de ensaios. No Brasil alguns laboratórios se valem dos métodos descritos na norma NBR-7190 da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, em outros se utilizam das normas COPANT - Comissão Panamericana de Normas Técnicas, da ASTM, - American Society for Testing and Materials, ou mesmo as normas européias para alguns ensaios. Existe portanto

dificuldade de comparação de resultados obtidos em testes de muitas espécies, mais ainda ao se considerar que ao longo do tempo as unidades utilizadas para expressar os resultados, diferem das recomendadas pelo Sistema Internacional de Unidades.

4.7.1.1 Resistência dos materiais

A resistência máxima de um material é definida como o esforço máximo que ocorre antes ou no momento de ruptura. Alguns tipos de materiais possuem consideráveis reservas de resistência entre o limite elástico e a ruptura. Esta faixa de resistência, chamada inelástica, no entanto não é considerada na aplicação da teoria da resistência para vigas de madeira, por ser esta muito variável em relação a outros materiais, como em estruturas de aço.

Ensaio realizados com corpos de prova de madeira da mesma espécie, mesmas dimensões, e nas mesmas condições, podem apresentar uma variação considerável em valores de resistência. PARKER, (1979); ressalta que a variabilidade nos resultados obtidos em ensaios deve ser levada em consideração, quando são estabelecidos os esforços admissíveis para fins estruturais de diferentes espécies e classes de madeira.

A variação existente entre a madeira juvenil e a adulta de espécies de coníferas, segundo SIMIONI (1981), deve ser necessariamente considerada no cálculo de tensões admissíveis para a classificação da madeira em classes de qualidade.

Embora a experiência empírica e a disponibilidade da madeira frequentemente ditasse quais as espécies de madeira que deveriam ser utilizadas para uma finalidade em particular, atualmente um conhecimento muito mais detalhado se faz necessário para uma utilização eficiente, bem como para a utilização de uma madeira de espécie desconhecida ou de crescimento em condição exótica, e ainda para a indicação de espécies para projetos de reflorestamento.

O valor e a regularidade das propriedades da madeira são parâmetros para o julgamento da qualidade desta, e assim uma estimativa do seu poder de concorrência no mercado, NOACK & SCHWAB (1973); NOACK, (1976).

Segundo BODIG & JAYNE (1993), a crescente diversidade na utilização de produtos compostos de madeira atualmente , tem expandido a necessidade de se obter dados da

resistência mecânica da madeira das diferentes espécies em uso e das novas espécies.

4.7.2 Elasticidade e Módulo de Elasticidade da madeira

Quando um corpo sólido é submetido à uma carga relativamente baixa sofre certa deformação proporcional a sua intensidade. A capacidade do material de voltar a forma inicial, ao ser removido o esforço, chama-se elasticidade. Porém se a grandeza da carga aplicada ultrapassar certo limite, chamado de "Limite de elasticidade ou proporcional", o corpo não retornará mais a sua forma original quando retirada a força atuante, se o esforço continuar o material se deformará até a ruptura, PARKER, (1979).

Então, elasticidade é a propriedade que têm os corpos de armazenar, sob a forma de energia potencial interna, o trabalho mecânico de deformação provocado por uma solicitação externa, devolvendo esta energia total ou parcialmente quando desaparece a causa da deformação. A elasticidade é uma característica dos corpos sólidos abaixo de certos limites de tensão, acima destes limites, deformações podem ocorrer.

O princípio da elasticidade é governado pela lei de *Hooke* que diz "não se ultrapassando determinados limites, os alongamentos são proporcionais aos esforços aplicados".

Neste caso a deformação específica é obtida por:

$$\text{Lei de Hooke} \quad \xi = \alpha_D \times \sigma$$

Sendo:

$$\xi = \frac{\text{Elongação}}{\text{comprimento original}} = \frac{dL}{L}$$

$$\alpha_D = \text{Coeficiente de deformação} = \xi : \sigma$$

$$\sigma = \text{resistência ou tensão} = \frac{P}{A} \text{ (Pa)}$$

Como a deformação específica é proporcional a tensão σ , temos que:

$$\xi = \frac{dL}{L} = \frac{P}{A \cdot E} = \frac{\sigma}{E}$$

Onde:

Módulo de Elasticidade

O Módulo de Elasticidade (MOE) expressa a carga necessária para estender um corpo de 1 cm^2 de área transversal de uma distância igual ao seu próprio comprimento. O Módulo de Elasticidade é apenas um valor teórico introduzido para maior facilidade de cálculos. Na realidade nunca se consegue uma deformação da grandeza do comprimento do próprio corpo, pois antes disto acontecer dá-se a ruptura do material, PARKER, (1979).

Embora o Módulo de Elasticidade não ofereça informações reais sobre o comportamento do material, em geral pode-se deduzir que:

- Quanto mais alto o valor do Módulo de Elasticidade, mais alta a resistência do material.
- Quanto mais alto o valor do Módulo de Elasticidade, mais baixa a deformabilidade de um material.
- Quanto mais baixo o Módulo de Elasticidade, piores serão as qualidades do material para fins construtivos.

A classificação de madeiras para construção, em alguns países, é baseada no Módulo de Elasticidade. A classificação é feita de acordo com a deformação medida.

4.7.4 Determinação do Módulo de Elasticidade

O Módulo de Elasticidade é normalmente determinado como valor recíproco da relação entre a deformação elástica total e a tensão aplicada através de ensaios de flexão estática, tração ou compressão.

$$\xi = \alpha_D \times \sigma$$

$$\alpha_D = \xi : \sigma = 1 : E = \sigma : \xi, \text{ assim,}$$

$$\text{MOE} = \frac{\sigma}{\xi} \quad (\text{Pa})$$

Onde:

MOE = Módulo de Elasticidade (Pa)

σ = tensão (kgf/cm^2)

ξ = deformação específica

Os valores para cálculo podem ser lidos diretamente em uma curva gráfica, fornecida pela máquina de ensaios, ou curva traçada com base em leituras feitas em relógio deflectômetro, que registra a deformação da peça ensaiada pelas cargas aplicadas, BODIG & JAYNE, (1993).

4.7.5 Resistência a flexão estática

Ensaio utilizado para determinação do Módulo de Elasticidade a flexão. Uma carga P aplicada no meio de um corpo de prova que repousa sobre dois apoios, causa tensões no seu interior e uma deformação até a ruptura. O teste de flexão estática encerra três tipos de tensões: tração, compressão e cisalhamento, como ilustra a Figura 09, sendo mais influenciado pelas tensões de compressão e tração, KOLLMANN & CÔTÉ, (1968); BODIG & JAYNE (1993).

As medidas nominais dos corpos de prova são: 5 x 5 x 75 cm, segundo a Norma COPANT 555 (1973), embora também se utilizem os 2 x 2 x 30 cm de árvores com pequenos diâmetros, ou para se obter corpos de prova sem defeitos.

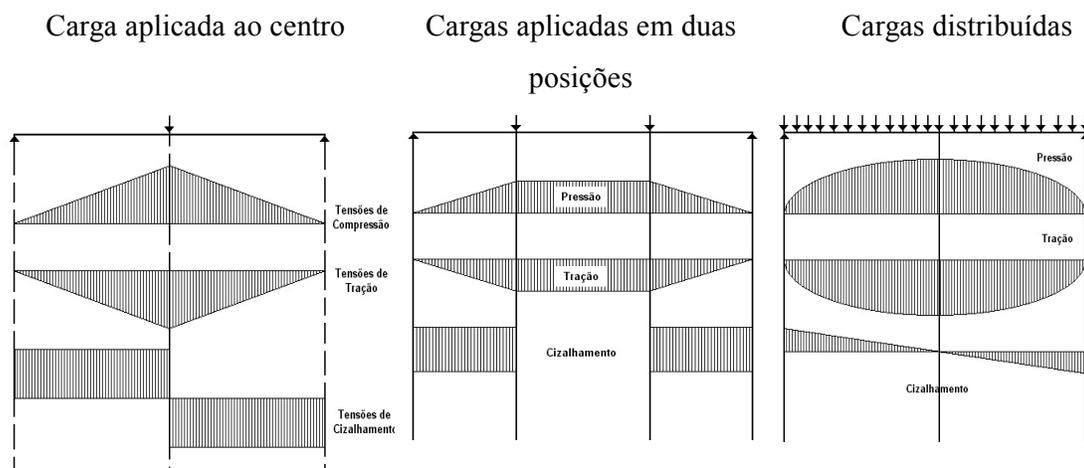


FIGURA 09 - DIAGRAMAS DAS FORÇAS DE COMPRESSÃO, TRAÇÃO E CISCALHAMENTO QUE ATUAM NA FLEXÃO ESTÁTICA PARA DIFERENTES APLICAÇÕES DE CARGA. (Adaptado de KOLLMANN & CÔTÉ, 1968).

A distribuição das tensões se alteram no interior do corpo de prova durante o ensaio, (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968), conforme ilustra a Figura 10, no início do ensaio, durante o ensaio e no momento da ruptura:

1º. Início do teste - a zona neutra está sendo deslocada para o lado de tração. As tensões de compressão e de tração são iguais (área igual).

2º. A tensão do lado de compressão não aumenta mais, devido a deformações plásticas neste lado. O lado de tração resiste mais, sendo quase o dobro da compressão.

3º. Ocorre a ruptura quando a tensão do lado tracionado atinge a resistência máxima à tração da madeira testada.

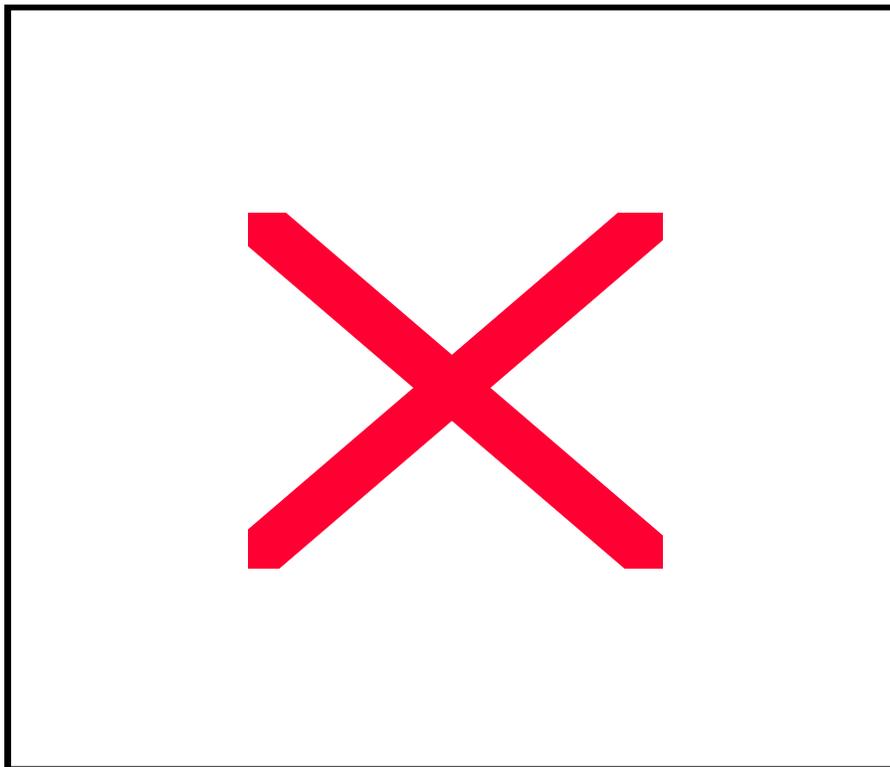


FIGURA 10 - DIAGRAMA DAS ALTERAÇÕES DAS TENSÕES NO INTERIOR DO CORPO DE PROVA NO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA. (Adaptado de KOLLMANN & CÔTÉ, 1968).

No cálculo da resistência máxima a flexão, utiliza-se a fórmula de *Navier*:

$$\sigma_{fmax} = \frac{M_{max}}{w} \quad (\text{Pa})$$

Onde:

σ_{fmax} = resistência máxima a flexão (Pa)

M_{max} = momento fletor máximo (kgf.cm)

w = módulo de resistência da seção transversal (cm³)

Mas;

$$M_{max} = \frac{P_{max} \times L}{4} \quad (\text{kgf.cm})$$

$$w = \frac{b \times h^2}{6} \quad (\text{cm}^3) \text{ seção quadrada}$$

Logo:

$$\sigma_{fmax} = \frac{3}{2} \times \frac{P_{max} \times L}{b \times h^2} \quad (\text{Pa})$$

Onde:

σ_{fmax} = resistência máxima a flexão (Pa)

P_{max} = carga máxima aplicada no momento da ruptura (kgf)

L = vão (cm)

b,h = largura e altura da peça de madeira (cm)

Do mesmo modo, podemos calcular o Módulo de Elasticidade pela fórmula:

$$MOE = \frac{1}{4} \times \frac{Plp \times L^3}{dlp \times b \times h^3} \quad (\text{Pa})$$

Onde:

E_m = Módulo de elasticidade à flexão (Pa)

P_{lp} = carga no limite proporcional (kgf)

d_{lp} = deformação no limite proporcional (mm)

L = vão (cm)

b, h = largura e altura da peça de madeira (cm)

4.7.6 Resistência à compressão paralela às fibras ou axial

A resistência da madeira a compressão pode ser determinada em pequenas amostras de madeira, livres de defeitos, pela aplicação de carga no sentido axial da peça ou paralelamente às fibras. É importante na utilização da madeira como material de construção (telhados, caibros, pilares, etc.).

Para determinação da máxima resistência a compressão, como nos testes de flexão estática, utilizamos uma tabela ou gráfico de carga e deformação medidos, no momento de execução do teste, KOLLMANN & CÔTÉ, (1968); BODIG & JAYNE (1993).

As dimensões do corpo de prova utilizados são de 5 x 5 x 20cm pela Norma COPANT 464, (1972), já na Europa adota-se corpos de prova 2x 2 cm.

Vantagens da dimensão transversal de 5 x 5 cm, apropriada para madeiras com anéis de crescimento largos e ou de crescimento irregular.

As dimensões do corpo de prova apresentam as seguintes influências nos ensaios, segundo KOLLMANN & CÔTÉ, (1968):

1. Quanto mais larga a peça de madeira, maior será o impedimento da extensão transversal, resultando numa resistência à compressão.

2. Quanto maior o comprimento da amostra, maior sua tendência de quebrar, rachar, e flambar, apresentando em consequência uma baixa resistência à compressão.

Uma relação $h/a = 4$ é considerada boa. Os corpos de prova previstos pela Norma COPANT 464 (1972), são de 5 x 5 x 20 cm, o que equivale a uma relação $h/a=4$.

Para o cálculo da tensão máxima usa-se a equação:

$$\sigma_{cmax} = \frac{P_{max}}{A} \text{ (Pa)}$$

Onde:

σ_{cmax} = máxima resistência a compressão axial (Pa)

P_{max} = carga máxima aplicada no momento da ruptura (kgf)
 A = área submetida ao esforço (cm^2)

Existe ainda a possibilidade de determinação de Módulo de Elasticidade medido a compressão, KOLLMANN & CÔTÉ, (1968); BODIG & JAYNE (1993); empregando a fórmula:

$$MOEc = \frac{Plp \times L}{a \times b \times dlp} \text{ (Pa)}$$

Onde:

MOEc = Módulo de Elasticidade a compressão (Pa)

Plp = carga no limite proporcional (kgf)

dlp = deformação no limite proporcional (cm)

L = vão (cm)

a x b = área de seção transversal da peça de madeira (cm^2)

Normalmente a ruptura ocorre no plano radial onde a madeira é mais fraca, os limites entre lenho inicial e tardio são mais resistentes.

4.7.7 Resistência ao cisalhamento

Consiste na separação das fibras por um esforço no sentido paralelo as mesmas. É de grande importância em madeiras cavilhadas, vigas treliçadas, roletes, calandras, polias, postes, etc., KOLLMANN & CÔTÉ, (1968).

Segundo BODIG & JAYNE (1993), experimentalmente um estado puro da tensão de cisalhamento é extremamente difícil de ser obtido na madeira.

A seção de trabalho (normalmente de 5x 5 cm) é medida com paquímetro antes da realização do teste, e a resistência ao cisalhamento é calculada pela fórmula, Norma COPANT 463 (1972):

$$\tau_{max} = \frac{P_{max}}{b \times h} \text{ (Pa)}$$

Onde:

P_{max} = Carga máxima (kgf)

$b \times h$ = área sujeita ao esforço (cm²).

O valor das tensões de cisalhamento depende principalmente dos sentidos de crescimento da madeira. No plano tangencial há uma grande influência do crescimento, ou da diferença entre os lenhos inicial e tardio. No plano radial há grande influência dos raios madeiras com raios largos resultam em baixa resistência ao cisalhamento, KOLLMANN & CÔTÉ, (1968).

4.7.8 Resistência a dureza

A dureza é geralmente definida como a resistência de uma matéria a penetração de um dispositivo (esfera, agulha, cilindro, etc.), KOLLMANN & CÔTÉ, (1968); BODIG & JAYNE (1993).

Existem vários métodos de se determinar a dureza, entre eles: dureza *Brinell* (esfera de 10 mm), *Chalais-Mendon* (cilindro de 3 cm de diâmetro) e *Janka*, KOLLMANN & CÔTÉ, (1968).

É uma propriedade importante para definição de uso da madeira para artigos esportivos, entalhes, assoalhos, parquetes, tacos, etc., sendo também indicadora da sua trabalhabilidade, BODIG & JAYNE (1993).

A Norma COPANT 465 (1972), prevê a determinação da dureza em medir o esforço necessário para introduzir no topo e nas faces laterais (tangencial e radial) de uma peça de madeira, uma semi esfera metálica com 1,13 cm de diâmetro, até uma profundidade igual ao seu raio. O esforço de penetração é medido em kgf , ou N pela recomendação do Sistema Internacional de Unidades.

As dimensões do corpo de prova são : 5 x 5 x 15 cm, e para o teste ser completo é necessário realizar impressões nos três plano de corte, KOLLMANN & CÔTÉ, (1968); BODIG & JAYNE (1993).

Em geral a dureza no sentido axial é maior que a dureza no sentido tangencial, que é aproximadamente igual a dureza radial,.

Uma grande desvantagem neste método são as influências da porcentagem de lenho

outonal, as tensões, fricções e rupturas de cisalhamento produzidas nas peças de madeira, causando por isso grande variação nos resultados.

Segundo BODIG & JAYNE (1993), os valores obtidos nos ensaios de dureza não tem aplicação prática direta, mas são muito úteis para comparação entre madeiras.

4.8 OBTENÇÃO DE CELULOSE E PAPEL A PARTIR DA MADEIRA

A obtenção de celulose é a fase inicial da manufatura de papel, visto que é impossível produzir papel sem a redução inicial da matéria-prima madeira ao estado de pasta fibrosa. O passo seguinte é a purificação da celulose obtida a um grau que depende do uso final da mesma, (RYDHOLM, 1965; IPT, 1988; SMOOK, 1989).

As propriedades da celulose e papel irão depender especialmente do processo de obtenção da polpa utilizado pelo fabricante. Alguns processos alcançaram grande projeção industrial, não obstante, outros processos que podem fornecer polpas celulósicas de qualidade satisfatória possam ser utilizados. O preço proibitivo da celulose obtida por certos processos, as vezes de qualidade superior às obtidas por processos convencionais, é o principal fator limitante da utilização industrial, IPT, (1988).

4.8.1 Separação das fibras

As fibras se mantêm unidas na madeira e em outras matérias fibrosas por meio de forças adesivas próprias dos polímeros intercelulares (lignina e carboidratos). A simples explicação de que a lignina atua como a única substância adesiva entre as fibras celulósicas não é satisfatória: - durante a maioria das reações que ocorrem na obtenção de polpas por processos químicos, outros compostos diferentes da lignina, que se encontram copolimerizados (interligados) são eliminados. Na obtenção de pasta mecânica, sem eliminação da lignina, a separação das superfícies ocorrem tanto entre as fibras como através das paredes celulares, quebrando as fibras, de acordo com SMOOK, (1989).

Desta forma, segundo IPT, (1988), as características das polpas dependem da forma e da quantidade de energia utilizada para separar ou subdividir as fibras.

Podem ser utilizadas energias:

- mecânica;
- térmica;
- química;
- ou uma combinação destas.

Quando somente energia mecânica é utilizada obtém-se fibras inteiras, fibras danificadas, pedaços e aglomerados de fibras e material fino sem estrutura. Quando além de energia mecânica é utilizada energia térmica ou/e química, obtém-se fibras inteiras, fibras danificadas e pedaços de fibras, e quando só energia química é utilizada as fibras são separadas inteiras, completamente individualizadas, IPT (1988); DUEÑAS, (1997).

Com os diversos métodos que se dispõe atualmente para dividir as três formas de energia, pode-se obter polpas celulósicas de propriedades bastante diversas.

Ao se triturar, por exemplo, um pedaço de madeira úmida contra uma pedra de um desfibrador, os elementos fibrosos produzidos não tem forma e tamanho definidos, obtendo-se a chamada pasta mecânica, sendo o material do tipo citado quando se utiliza somente energia mecânica. É um processo desordenado denominado mecânico.

Se tratarmos a madeira com energia térmica, através de vaporização a temperaturas de até 130°C, amolecendo a madeira, e depois desfibrando mecanicamente, uma menor quantidade de energia mecânica é necessária, sendo o processo denominado termo-mecânico.

Se um outro pedaço de madeira for amolecido numa solução de NaOH (soda cáustica) diluída, por algumas horas e depois desfibrado mecanicamente, observa-se que uma menor quantidade de energia mecânica é necessária. A energia química do NaOH rompeu algumas forças adesivas intercelulares (processo soda a frio). No produto final notam-se fibras mais completamente separadas que no caso anterior. Ocorre uma pequena dissolução de lignina e algumas polioses são dissolvidas. A este tipo de processo dá-se o nome genérico de químico-mecânicos ou mecano-químicos.

Se antes de desfibrada, a madeira amolecida numa solução de NaOH for tratada com energia térmica a temperaturas entre 100~130°C, para ocasionar maior amolecimento da madeira, e desta forma possibilitar uma separação mais completa das fibras, diminuindo a energia mecânica necessária para o desfibramento, tem-se o chamado processo químico-termo-mecânico.

Ao se tratar cavacos de madeira com Na_2SO_3 e Na_2CO_3 em condições de elevada temperatura ($\sim 170^\circ\text{C}$), concentração de reativos químicos mais alta e próximo a pH neutro, maior quantidade de lignina e carboidratos são dissolvidos, desta forma, as fibras são mais facilmente separadas, com um consumo ainda menor de energia mecânica, estes processos são os semi-químicos.

Nos processos químicos, a separação das fibras é conseguida mediante o emprego de energia química segundo condições específicas de tempo, pressão, temperatura e concentração de reagentes. Conforme o balanço entre estas condições de deslignificação, podem ser obtidas polpas celulósicas com teor de lignina residual maior (celuloses mais duras) ou menor, em início de degradação em virtude de condições mais drásticas de cozimento (celuloses moles), IPT (1988); DUEÑAS, (1997).

4.8.2 Processos químicos de obtenção de celulose

A produção de celulose é a primeira fase na obtenção do papel, que é o produto final.

Várias fases intermediárias existem, sendo por exemplo o branqueamento da celulose uma etapa importante.

Sob o ponto de vista técnico o termo "celulose" compreende o resíduo fibroso proveniente da deslignificação parcial ou total da matéria-prima vegetal empregada, IPT, (1988).

Nos processos químicos a separação ou individualização das fibras é conseguida através de produtos químicos que agem principalmente sobre a lignina que compõe a lamela média e que une os elementos fibrosos entre si.

A operação inicial de deslignificação recebe o nome de cozimento ou digestão da matéria-prima empregada.

Segundo IPT, (1988) entre os vários processos químicos o processo sulfato ou *Kraft* é o mais importante e o mais difundido pelas seguintes razões:

- Simplicidade.
- Rapidez.
- Versatilidade quanto as matérias-primas empregadas (coníferas, folhosas, resíduos agrícolas, etc.).
- Excelentes características da celulose obtida em termos de resistências mecânicas.

- Possibilidade de recuperação econômica do licor residual (licor negro).

4.8.3 Processo sulfato ou *Kraft*

Existe um grande número de fatores influenciando o rendimento e a qualidade final da celulose pelo processo *Kraft*, (RYDHOLM 1965; IPT 1988; SMOOK 1989, FENGEL & WEGENER 1989; DUEÑAS 1997).

As principais são:

- Matéria-prima vegetal
- Licor de cozimento
- Relação licor:madeira
- Tempo de cozimento
- Temperatura de cozimento

1. Matéria-prima vegetal:

a. Espécie e tipo de fibra:

Das matérias-primas fibrosas empregadas no processo *Kraft*, a madeira é a mais importante. Não obstante qualquer outro tipo de vegetal fibroso é passível de ser tecnicamente empregado no processo.

Os principais tipos de madeira comercialmente empregadas podem ser classificadas entre coníferas e folhosas. Sendo que as primeiras se caracterizam por possuírem fibras longas e as segundas fibras curtas. Consequentemente produzem celulose com características diferentes. A celulose proveniente de coníferas mostra uma maior resistência ao rasgo e aquela proveniente de folhosas uma alta resistência à tração e ao arrebentamento e um maior rendimento em celulose, IPT (1988).

Encontra-se na literatura especializada inúmeros trabalhos que correlacionam as características das fibras da madeira com as propriedades físico-mecânicas da celulose obtida pelo processo *Kraft*, (DINWOODIE, 1965).

b. Massa específica básica:

Sua principal influência se faz sentir no rendimento volumétrico do processo, penetração do licor de cozimento, tempo de cozimento e qualidade da celulose.

Geralmente as folhosas são mais densas que as coníferas. Com o aumento da massa específica, dentro de uma mesma espécie vegetal, normalmente aumenta a espessura da parede celular, diminuem as resistências à tração e arrebentamento e aumenta a resistência ao rasgo, (DINWOODIE, 1965).

c. Composição química :

Os principais componentes químicos da madeira são: celulose, polioses (ou hemiceluloses), lignina, extrativos e compostos inorgânicos, (FENGEL & WEGENER, 1989).

Geralmente as folhosas contem maior porcentagem de celulose e hemiceluloses, enquanto que as coníferas possuem maior teor de lignina. Como consequência as folhosas fornecem maior rendimento em celulose, enquanto que as coníferas requerem condições mais drásticas de cozimento para se obter uma polpa com determinado grau de deslignificação. (IPT, 1988; FENGEL & WEGENER, 1989; DUEÑAS, 1997).

Quanto aos extrativos e minerais, dentro dos teores normais de ocorrência, não chegam a causar problemas graves dentro do processo *Kraft*, pelo fato da maioria deles serem solúveis no licor de cozimento. Teores elevados são prejudiciais pelo fato de consumirem parte dos reagentes utilizados na deslignificação da madeira e podem dificultar a depuração e branqueamento da polpa, FENGEL & WEGENER, (1989).

d. Casca :

A madeira pode ser processada com ou sem casca, IPT, (1988).

Normalmente a casca da madeira é removida, tendo em vista que:

- Diminui o rendimento obtido por carga de digestor, embora o rendimento em matéria seca produzida seja aumentado.
- Diminui a alvura da celulose.
- Diminui as resistências físico-mecânicas da celulose.
- Dificulta a purificação ou depuração da celulose.
- Causa problemas durante o branqueamento da celulose.

e. Umidade :

A influência do teor de umidade da madeira empregada no processo *Kraft* tem mostrado ser insignificante, (RYDHOLM, 1965; IPT, 1988; SMOOK, 1989).

f. Tempo e condição de armazenamento:

A madeira após a derrubada e corte da árvore, pode ser armazenada na forma de toras ou cavacos. Existem vários estudos procurando determinar a influência do tempo e condições de armazenamento sobre a celulose resultante e a grande maioria das conclusões são contraditórias, dado o grande número de variáveis envolvidas.

De uma maneira geral, a madeira recém cortada tem-se mostrado de melhor qualidade para a produção de celulose, (RYDHOLM, 1965; IPT, 1988; SMOOK, 1989).

g. Tamanho dos cavacos :

Para facilitar a penetração do licor de cozimento a madeira é reduzida a cavacos. O licor penetra nos cavacos em todas as direções, pelo fato das paredes celulares serem permeáveis a soluções alcalinas.

O tamanho dos cavacos não é tão importante como sua uniformidade. Cavacos muito grandes são mais difíceis de serem digeridos pelo licor, e como resultado ficam sub-cozidos, o que aumenta o teor de rejeitos e a lignina residual na celulose, (RYDHOLM, 1965; IPT, 1988; SMOOK, 1989).

Cavacos muito pequenos, misturados com cavacos normais são super-cozidos, o que leva a uma diminuição do rendimento e das resistências físico-mecânicas da celulose.

2. Licor de cozimento

O licor de cozimento do processo *Kraft*, fundamentalmente, é uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S) que atuam como agentes de deslignificação. O licor industrial contém uma série de outros sais de sódio que aparecem durante o cozimento ou na recuperação do licor. Os principais são: carbonato (Na₂CO₃), sulfato (Na₂SO₄), sulfito (Na₂SO₃) e tiosulfato (Na₂S₂O₃), (RYDHOLM, 1965; IPT, 1988; SMOOK, 1989; DUEÑAS, 1997).

Nos termos citados, a referência para expressão é o Na₂O. O composto Na₂O realmente não ocorre em liberdade no licor de cozimento, porém é usado como padrão para facilidade e simplificação dos cálculos.

As principais variáveis do processo relacionadas com a composição do licor de cozimento são: álcali-ativo (AA) e sulfidez, segundo SMOOK, (1989).

Álcali ativo

Comercialmente é empregado uma porcentagem de álcali ativo que varia de 10 a 20%, dependendo da espécie da madeira, tipo e qualidade de celulose que se quer produzir, e

dependendo inclusive das outras variáveis do processo. Por exemplo, é importante que se pré- fixe a concentração do licor em termos de g.l^{-1} , o que pode ser conseguido conhecendo-se a relação licor madeira, (DUEÑAS,1997).

Mantendo-se constante todas as variáveis envolvidas no cozimento, o aumento do álcali ativo conduz a uma diminuição do rendimento, % de rejeitos, teor de lignina residual, etc., segundo SMOOK, (1989).

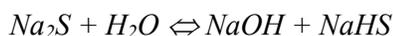
Para a produção de um dado tipo de celulose, a diminuição do álcali ativo geralmente requer em contrapartida, menor relação licor madeira, maior temperatura ou maior tempo de cozimento.

Altas concentrações de álcali ativo não são recomendadas pelo ataque que a celulose e polioses podem sofrer, diminuindo o rendimento e produzindo uma celulose de resistências inferiores, (RYDHOLM, 1965; IPT, 1988; SMOOK, 1989).

Sulfidez

A sulfidez do licor é dada pela presença do Na_2S . Normalmente se emprega de 20 a 30% de sulfidez o que corresponde de 2 a 6 % de Na_2S , como Na_2O , sobre a madeira absolutamente seca empregada no cozimento.

O sulfeto de sódio em solução hidrolisa-se, conforme mostrado a seguir:



Esta reação é reversível e como tal, existe um equilíbrio entre os quatro reagentes mostrados na equação. Por assim ser, o sulfeto de sódio presente no licor aumenta a disponibilidade de NaOH conforme este vai sendo consumido durante o cozimento.

Por outro lado o sulfeto de sódio aumenta a velocidade e efetividade da remoção da lignina, provavelmente porque o grupo $-\text{SNa}$ reage com a mesma tornando-a mais solúvel e evitando reação de condensação. Isto posto, durante o cozimento *Kraft*, forma-se tiolignina juntamente com lignina sódica, (RYDHOLM, 1965; IPT, 1988; SMOOK, 1989).

Outra vantagem da presença de sulfeto de sódio, é a inibição em parte do ataque do hidróxido de sódio sobre a celulose, e com isso melhorar a qualidade da pasta celulósica final. A natureza redutora do Na_2S evita a oxidação da celulose dando como resultado polpa celulósica com reduzidos teores de oxi-celulose, IPT, (1988).

Um dos inconvenientes do sulfeto de sódio é formar durante o cozimento uma série de compostos de odores desagradáveis, entre os quais se destacam as mercaptanas e tio-éteres.

3. Relação licor-madeira

A relação licor-madeira fornece o volume de licor empregado para uma determinada quantidade absolutamente seca de madeira. É expresso em termos de litros.kg⁻¹ ou m³.ton⁻¹.

A relação licor-madeira está intimamente ligada à concentração em termos de álcali ativo, sulfidez, etc., e a concentração em g.l⁻¹. Desta maneira, pré-fixando-se uma destas variáveis, qualquer alteração na segunda refletirá numa alteração da terceira.

Normalmente se empregam relações licor-madeira entre 3:1 a 6:1. Dependendo do tipo do digestor pode-se trabalhar com relações bastante baixas, o que se constitui numa vantagem quando o licor é recuperado, (RYDHOLM, 1965; IPT, 1988; SMOOK, 1989).

4. Tempo e temperatura de cozimento

O tempo de cozimento está associado a outras variáveis como a temperatura, concentração, relação licor-madeira, etc. Qualquer alteração nestas variáveis tende a aumentar ou reduzir o tempo de cozimento para se conseguir uma celulose a um dado rendimento e qualidade, (RYDHOLM, 1965; IPT, 1988; SMOOK, 1989).

Normalmente o tempo de cozimento é expresso em função de : "tempo até temperatura máxima" e "tempo à temperatura máxima".

O tempo até temperatura máxima oscila de 1 a 2 horas e o tempo à temperatura máxima entre 30 minutos à 1 hora para madeira de folhosas e entre 1 a 2 horas para madeira de coníferas, IPT, (1988).

As temperaturas máximas usuais oscilam entre 160 e 180°C. O licor de cozimento à temperatura ambiente dissolve apreciáveis quantidades da madeira. A velocidade de dissolução é sobremaneira aumentada a altas temperaturas, quando chega a dobrar a cada acréscimo de 10°C. O efeito da temperatura em si tem pequeno efeito sobre a resistência da celulose, enquanto que o rendimento tende a cair com o seu aumento, pois a altas temperaturas, o ritmo de remoção da holocelulose tende a exceder a da lignina, (RYDHOLM, 1965; IPT, 1988; SMOOK, 1989).

Fator H

O processo de cozimento da madeira, ou seja, a deslignificação pode ser encarada como uma reação de primeira ordem, DUEÑAS, (1997). Para se expressar a temperatura e o tempo

de cozimento foi desenvolvida uma variável que posteriormente foi chamado de fator H. A energia de ativação é $E_a = 32000 \text{ cal.mol}^{-1}$.

A velocidade global de deslignificação da massa, expressa-se da seguinte maneira:

$$dL/dt = kL$$

onde: L = conteúdo de lignina na fibra

t = tempo (minutos)

k = constante de velocidade

Com base em dados experimentais de valores de k a várias temperaturas, a energia de ativação pode ser calculada pela equação de *Arrhenius*:

$$\ln k = \ln A - E_a/R.T$$

onde:

R = constante universal dos gases

A = fator de frequência

T = temperatura (K)

E_a = energia de ativação

A energia de ativação para madeira de folhosa, *Eucalyptus* sp., por exemplo, é de $12000 \text{ cal.mol}^{-1}$ para a fase inicial, e 31000 a $36000 \text{ cal.mol}^{-1}$ para a deslignificação e $27000 \text{ cal.mol}^{-1}$ para a fase final. Assumindo-se que a 100°C a velocidade é unitária ($\ln k = 0$), o efeito do tempo de cozimento e da temperatura, pode ser expresso por meio de uma só variável, (DUEÑAS, 1997), obtendo-se:

$$k = e^{(43,33 - (16161,62/T))}$$

$$\text{fatorH} = \int_0^t k dt$$

onde:

t = tempo (minutos)

T = temperatura (K)

A equação acima é válida para temperaturas maiores que 100°C, o pré aquecimento contribui com 200 unidades de H, (DUEÑAS, 1997).

4.9 PROPRIEDADES DO PAPEL E ENSAIOS PARA SUA AVALIAÇÃO

4.9.1 Propriedades físicas do papel

4.9.1.1 Gramatura, Espessura e Densidade aparente do papel

A gramatura é a massa do papel expressa em gramas por metro quadrado (g.m^{-2}). A medição se realiza, em corpos de prova condicionados, por meio de uma balança analítica ou uma balança na qual é possível ler diretamente a massa em gramas por metro quadrado, quando se pesa uma folha de área determinada, conforme a norma P6-1996, (ABTCP, 1998).

A gramatura do papel afeta a maioria das propriedades, principalmente as mecânicas e as ópticas. Para facilitar uma comparação, é comum relacionar algumas propriedades à gramatura, como, por exemplo, o índice de tração que é o quociente entre a resistência à tração e a gramatura, IPT, (1988); SMOOK, (1989); e DUEÑAS, (1997).

A gramatura é comumente especificada na venda e compra do papel. O consumidor, na compra de papel em bobinas ou folhas, está interessado na gramatura, porque um papel mais pesado que o especificado resulta em menos folhas, sacos ou outras subunidades após a conversão, mas é deficiente em, por exemplo, na resistência e opacidade.

Segundo IPT, (1988); SMOOK, (1989); e DUEÑAS, (1997), a espessura do papel é definida como segue.

Espessura de uma única folha: quando esta é colocada entre duas superfícies planas, circulares e sujeitas a uma pressão constante.

Espessura média das folhas no maço: espessura de uma única folha de papel, calculada a partir do valor da espessura das folhas no maço, quando estas são colocadas entre duas superfícies planas, circulares e sujeitas a uma pressão constante (papéis com gramatura até 224 g.m^{-2}).

A medição se realiza através de um micrômetro padronizado que possui dois discos

planos e paralelos, entre os quais se coloca o corpo de prova. O resultado é expresso em milímetros, de acordo com a norma P5-1994, corrigida em 1998, ABTCP, (1998).

A espessura é afetada pela composição fibrosa, grau de refino e, principalmente pela calandragem; por sua vez, afeta as propriedades mecânicas e ópticas do papel e é relevante no desempenho de papéis para fins elétricos.

Densidade aparente do papel (ρ_a); é calculada pela relação:

$$\rho_a = \frac{\text{Gramatura (g.m}^{-2}\text{)}}{\text{Espessura (\mu m)}} \quad (\text{g.cm}^{-3})$$

A densidade aparente é assim denominada, por incluir os espaços do papel preenchidos por ar; é considerada uma das mais importantes propriedades do papel, influenciando as propriedades físicas e ópticas, exceto a gramatura. (DUEÑAS, 1997).

A densidade aparente da folha de papel é afetada por muitos fatores que podem ser classificados em: grau de ligação das fibras, presença de materiais não fibrosos que preenchem os espaços vazios, e calandragem. (IPT, 1988; DUEÑAS, 1997).

4.9.2 Propriedades mecânicas de resistência do papel

A maneira do papel resistir à ação de forças externas, da umidade e do calor, depende de sua composição fibrosa e de sua formação. A resistência do papel é muito importante nos casos onde o papel deve resistir a um esforço aplicado. Esta resistência, sendo um termo vago, precisa ser identificada quanto à sua natureza, como, por exemplo, resistência à tração, resistência ao rasgo resistência ao arrebentamento ou estouro, IPT, (1988); DUEÑAS, (1997).

Na prática, para o desempenho de um papel com fim determinado, só um ensaio mecânico não é significativo para poder deduzir se o papel reúne as condições necessárias para sua utilização. É muito importante obter pelo menos um par de ensaios mecânicos diferentes, significativos para uma determinada aplicação.

Existem vários ensaios de resistência que podem ser feitos no papel; os mais comuns são: resistência à tração, resistência ao arrebentamento ou estouro, resistência ao rasgo e resistência a dobras duplas. Nenhum destes ensaios é uma medida fundamental, mas uma combinação de vários fatores, como flexibilidade, ligações de fibras e resistência da fibra. Tais fatores dependem, entre outros, do tipo de fibras, do comprimento e espessura das fibras,

da flexibilidade das fibras individuais, do número de ligações entre fibras, da resistência das ligações individuais, da gramatura do papel, da densidade aparente e da umidade, IPT, (1988).

4.9.2.1 Resistência à tração

Os papéis devem resistir, pelo menos, aos diferentes tipos de força que encontram ao longo do processo de produção e utilização.

Para a determinação da resistência à tração, submete-se um corpo de prova de largura e comprimento especificados a um esforço de tração uniformemente crescente até a sua ruptura. Como as características diferem pela direção na folha de papel, os corpos de prova para o ensaio devem ser cortados nas direções longitudinal e transversal, conforme a norma P7-1994, (ABTCP, 1998).

O aparelho usado para determinar a resistência à tração é o dinamômetro, e os valores obtidos são reportados em kN.m^{-1} , isto é, divide a carga de ruptura pela largura do corpo de prova.

A resistência à tração também pode ser expressa pelo chamado comprimento de auto-ruptura (CAR), definido como o comprimento de uma tira de papel que, quando suspensa, se rompe sob seu próprio peso, (IPT 1988; DUEÑAS 1997). O comprimento de auto-ruptura é expresso em metros, calculado da seguinte maneira:

$$\text{CAR} = \frac{\mathbf{R \times 1\ 000\ 000}}{\mathbf{G \times L}} \text{ (m)}$$

onde:

R = carga de ruptura em kgf (valor da leitura no dinamômetro);

G = gramatura da amostra em g.m^{-2} ;

L = largura do corpo de prova em mm.

A resistência à tração é relacionada com a durabilidade e utilidade de um papel, como, por exemplo, para embalagem e outros usos também sujeitos a forças de tensão direta. No caso de papéis de impressão, a resistência à tração indica a probabilidade de ruptura quando são sujeitos à tensão exercida durante o processo de impressão. A resistência à tração é

controlada por fatores como:

- comprimento médio das fibras;
- espessura da parede celular das fibras;
- formação e estrutura da folha.
- resistência individual das fibras;

Dependendo do tratamento recebido durante seu processamento, as fibras podem ter sofrido degradação e enfraquecimento, dando origem a papéis fracos. O valor da resistência à tração de uma folha mal formada será menor, pois a ruptura ocorre na área mais fraca, IPT, (1988).

Segundo DINWOODIE, (1965), o comprimento das fibras foram inicialmente correlacionadas com a resistência à tração e ao estouro, porém ao longo do tempo poucas evidências se comprovaram. Muitos estudos se seguiram, onde evidências da influência de outras variáveis foram se confirmando, como por exemplo o Índice de Enfeltramento, relação entre o comprimento e o diâmetro da fibra, a massa específica da madeira, do Coeficiente de Flexibilidade da Fibra, relação entre o diâmetro do lume e a largura da fibra.

4.9.2.2 Resistência ao arrebentamento (estouro)

O ensaio de resistência ao arrebentamento ou estouro é um dos mais antigos; por ser simples, ainda é usado nas fábricas, no controle de rotina e para caracterização do papel, (IPT, 1988).

A resistência ao estouro é definida como a pressão necessária para produzir o arrebentamento do material, ao se aplicar uma pressão uniformemente crescente, transmitida por um diafragma elástico, de área circular. O corpo de prova, submetido ao ensaio, é preso rigidamente entre dois anéis concêntricos, conforme a norma P8-1994, (ABTCP, 1998).

A medição da resistência independe da direção de fabricação do material, pois a força transmitida pelo diafragma é perpendicular à superfície do corpo de prova. O esforço ao qual o material está submetido simula o emprego prático do papel, em forma de sacos, papel de embrulho e outros. Todavia, é difícil, na prática, se estabelecer uma correlação simples entre o valor da resistência ao arrebentamento e o desempenho dos papéis.

A pressão limite no momento da ruptura, chamada de resistência ao arrebentamento, é expressa em kPa. Para sua determinação utiliza-se o aparelho Mullen.

A resistência ao arrebentamento é controlada por diversos fatores, de acordo com IPT, (1988); SMOOK, (1989) e DUEÑAS, (1997), como:

- a. A resistência ao arrebentamento aumenta com crescente refinação, para decrescer com excesso desta. A baixa resistência ao arrebentamento pode ser atribuída, em parte, ao corte das fibras;
- b. As variações na gramatura e na espessura causam comumente variação na resistência ao arrebentamento;
- c. O uso de aditivos e colas afeta consideravelmente o comportamento do papel e o resultado do ensaio.

Segundo DINWOODIE, (1965); a flexibilidade das fibras, que pode ser verificada através do Coeficiente de Flexibilidade, e do Índice de Enfeltramento, apresentam influência na resistência ao estouro, bem como a massa específica que como na tração se correlaciona de forma negativa com a resistência ao estouro.

4.9.2.3 Resistência ao rasgo

A resistência ao rasgo mede o trabalho necessário para rasgar o papel, a uma distância determinada, depois do rasgo ter sido iniciado por meio de uma faca adaptada ao aparelho. (IPT, 1988; SMOOK, 1989; DUEÑAS, 1997).

A resistência é medida em um aparelho tipo pêndulo *Elmendorf*, no qual os corpos de prova de dimensões especificadas são presos entre duas garras. O pêndulo é solto de forma a completar o rasgo iniciado, sendo o trabalho despendido nesta operação marcado em uma escala graduada de 0 a 100 gf, fixada no próprio aparelho, conforme a norma P9-1994, (ABTCP, 1998).

Para a execução do ensaio, os corpos de prova são cortados para cada direção do papel a ser ensaiado. Determinam-se, em um ensaio preliminar, quantas folhas são necessárias para, quando ensaiadas juntas, o valor da leitura situar-se na região do meio da escala. A força média necessária para rasgar uma só folha com a distância fixada é expressa em mN e é calculada da seguinte maneira:

$$R = \frac{16 \times L}{n}$$

onde:

R = resistência ao rasgo em mN;

L = média das leituras feitas;

n = número de folhas ensaiadas em conjunto.

Entre os fatores que podem afetar a resistência ao rasgo, têm-se o comprimento das fibras e a ligação entre elas, (IPT 1988).

O ensaio de resistência ao rasgo é usado na avaliação de sacos de papel, etiquetas, papéis para fins higiênicos e certos papéis que, na utilização, são submetidos à força de rasgamento. (DUEÑAS, 1997).

Segundo DINWOODIE, (1965); a resistência ao rasgo foi no passado relacionada a maioria das características anatômicas e químicas da fibra, e embora essas relações terem sido exaustivamente pesquisadas, dúvidas e incertezas sempre existiram na definição dos fatores críticos que afetam esta propriedade do papel.

O autor citando Peteri (1954), e Petroff & Normand (1961), relata que encontraram em seus trabalhos importante correlação positiva entre o Índice de Enfeltramento (IE) com a resistência ao rasgo do papel. O mesmo autor citando Watson et al. (1964) e Annergren et al. (1963); comenta que para a celulose de coníferas o comprimento dos traqueóides teve importância secundária na resistência ao rasgo, enquanto que a massa específica e a espessura da parede celular foi o principal fator controlando o rasgo.

DINWOODIE, (1965); em estudo com polpa de coníferas, encontrou como principal variável afetando a resistência ao rasgo de forma positiva a relação entre a espessura da parede celular e o diâmetro do traqueóide, seguido pelo comprimento do traqueóide.

FOELKEL (1976), em estudo de obtenção de celulose com espécies de coníferas plantadas no Brasil e nos Estados Unidos da América, que foram: *Araucaria angustifolia* de idade indeterminada; *Pinus elliottii* com 8 anos; *Pinus taeda* com 11 anos; *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 8 anos; todas plantadas no Brasil, e ainda com *Pinus elliottii* de 18 anos e *Pinus taeda* de 16 anos, essas plantadas nos Estados Unidos, obteve resultados em rendimento bruto para as celuloses obtidas de madeiras brasileiras de 47,2 a 51,84%, superiores a celulose obtida da madeira americana que foi de 43,3% para *Pinus taeda* e 45,6% para *Pinus elliotti*. Os resultados médios obtidos para as propriedades de resistência da celulose e papel, ajustados para uma densidade aparente de $0,600 \text{ g.m}^{-3}$, são apresentados como exemplo, na Tabela 10.

TABELA 10 - RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DO PAPEL FEITO A MÃO DE CONÍFERAS PLANTADAS NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS, AJUSTADOS PARA DENSIDADE APARENTE DO PAPEL DE $0,600 \text{ g.cm}^{-3}$ (Adaptado DE FOELKEL, 1976).

Espécie	Tempo de moagem (min.)	Comprimento de Auto ruptura (km)	Fator de Estouro	Fator de Rasgo
<i>Araucaria angustifolia</i>	34	5,91	41,2	148
<i>Pinus elliottii</i>	22	6,15	45,7	116
<i>Pinus taeda</i>	22	6,38	50,2	143
<i>Pinus caribaea</i>	29	6,64,	51,2	137
Slash Pine ¹	44	9,19	75,5	138
Loblolly Pine ²	31	9,19	74,9	148

¹ *Pinus elliottii* – madeira americana

² *Pinus taeda* - madeira americana

WATSON & DADSWEEL (1961,1962), estudando a influência comprimento dos traqueóides e da porcentagem de lenho tardio nas propriedades da celulose, determinaram para *Pinus taeda*, de 23 anos, com porcentagem de lenho tardio em torno de 38%, valores médios para os índices de rasgo de 276 e 176, estouro de 43 e 75 e comprimento de auto ruptura de 4,4 a 8,1 km, sendo o primeiro valor correspondente a tratamento sem refino e o segundo a refinação a 9000 revoluções em moinho tipo *Lampen*.

Os autores, concluíram de seu estudo, que o comprimento dos traqueóides influencia as propriedades de resistência da celulose positivamente em relação ao rasgo, mas outros fatores devem atuar conjuntamente; o lenho inicial e lenho tardio produzem celulose com propriedades diferentes, o lenho tardio produz celulose com alto valor na resistência ao rasgo, mas com relativos baixos valores em estouro e tração, enquanto que o lenho inicial produz papel com boa conformação, com resistências mais altas em estouro e tração, porém com resistência ao rasgo mais baixas, e que a porcentagem ótima de lenho inicial-tardio na madeira

dependerá do uso final do papel.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. ESPÉCIES ESTUDADAS

As amostras de madeira juvenil para este estudo foram obtidas de quinze árvores de *Pinus maximinoi* H. E. Moore e de *Pinus taeda* L., provenientes de plantios com 11 (onze) anos de idade, localizados na Fazenda Moquém, de propriedade da PISA - Papel de Imprensa S.A, localizada no município de Ventania, Estado do Paraná. A espécie *Pinus maximinoi* foi escolhida para o estudo por se destacar pelo ritmo e vigor de crescimento na região e pela necessidade de se conhecer a qualidade da madeira produzida pela espécie.

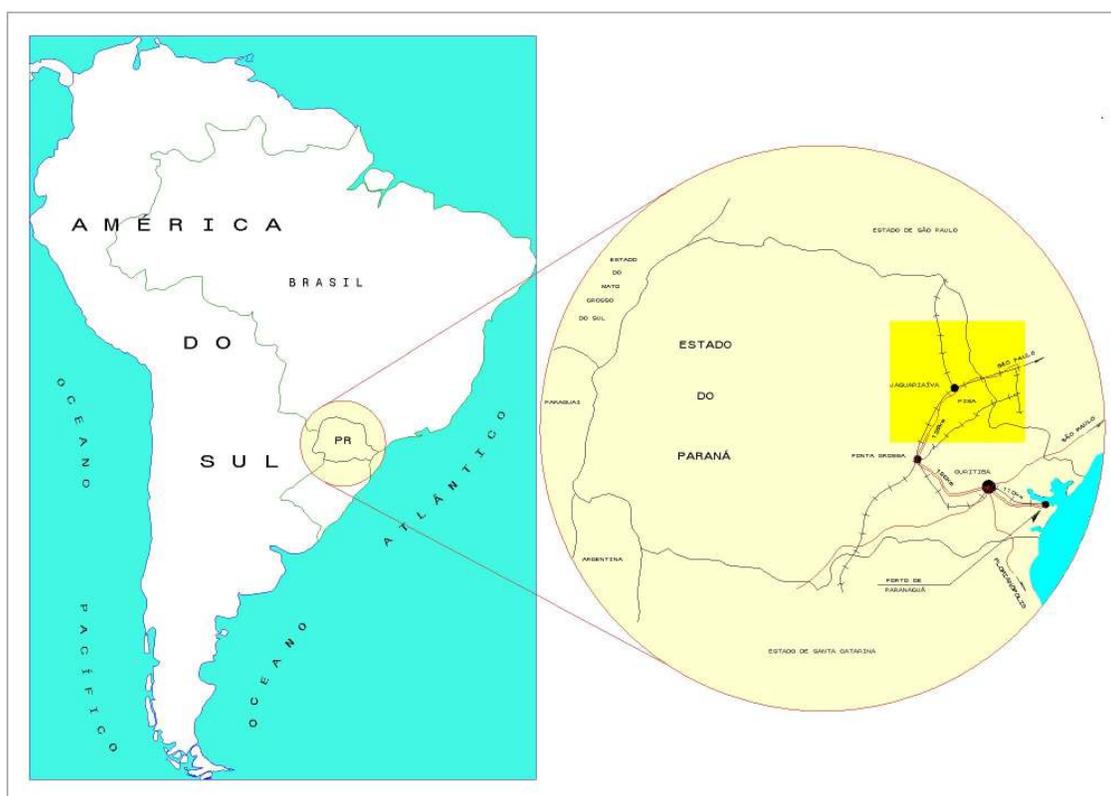


FIGURA 11- MAPA DE LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA REGIÃO DE COLETA DAS AMOSTRAS. (Fonte: PISA – Papel de Imprensa S.A., 2000)

As árvores de *Pinus maximinoi*, são oriundas de teste de progênies, implantado em 1988 pelo Programa CAMCORE (Central America and México Coniferous Resources), sendo representantes dos programas de melhor desenvolvimento em diâmetro, altura e forma.

As Figuras 11 e 12, ilustram a localização geográfica da região de coleta das amostras e a localização geográfica do distrito florestal de Moquém, destacado em vermelho, e sua região bioclimática.

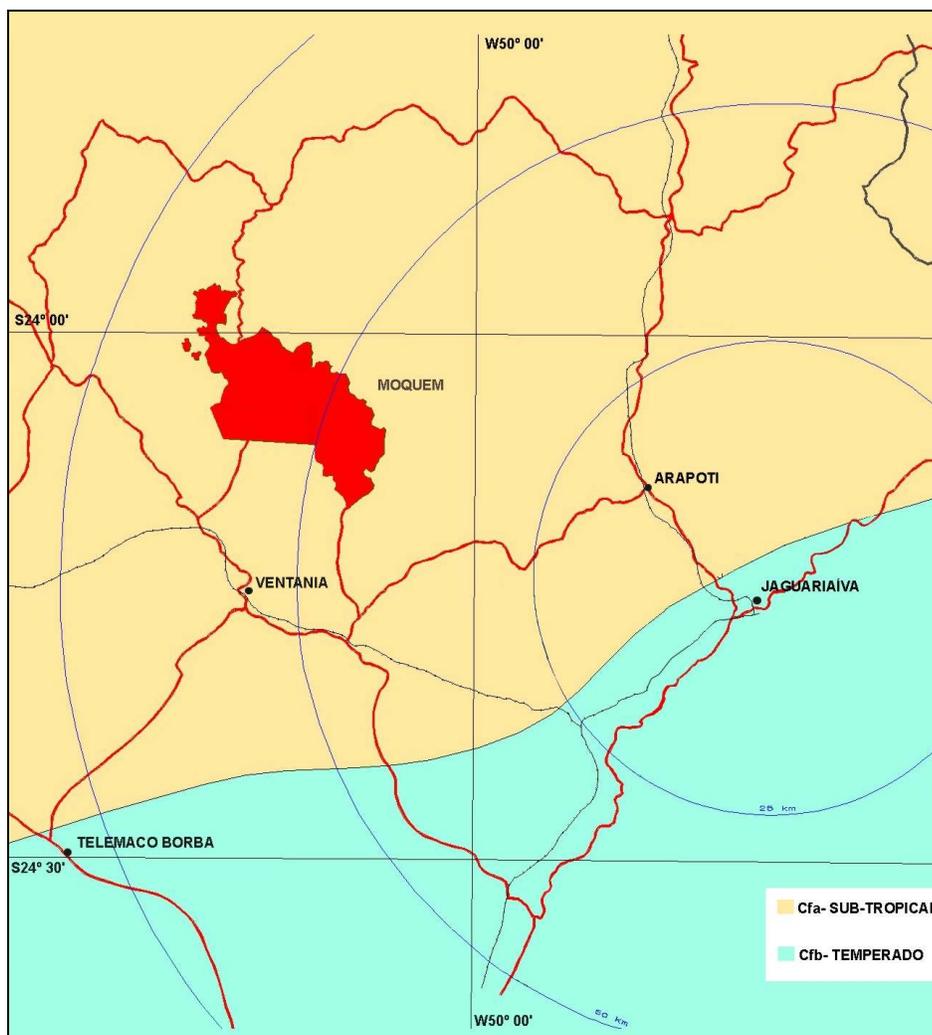


FIGURA 12 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO DISTRITO FLORESTAL DE MOQUEM E SUA REGIÃO BIOCLIMÁTICA. (Fonte: PISA, Papel de Imprensa S.A, 2000).

A espécie *Pinus taeda*, por sua vez, foi escolhida por ser uma das duas espécies do gênero *Pinus* mais plantadas e utilizadas industrialmente no País; e especificamente pelo plantio estar localizado em talhão contíguo ao teste de progênies de *Pinus maximinoi*.

As Tabelas 11 e 12 apresentam as características das árvores das duas espécies coletadas para o estudo.

TABELA 11 - CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES AMOSTRADAS – *Pinus maximinoi*

Programa	Sequência	¹ CAP (cm)	Altura (m)	Altura com.(m)	Localização das amostra por altura
295	1	99	22,9	17,8	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
362	2	90	23,7	17,5	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
39	3	81	20,8	16,0	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
477	4	83	23,2	17,3	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
424	5	89	23,1	17,6	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
479	6	89	23,4	16,8	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
452	7	92	22,2	18,8	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
250	8	99	22,7	18,0	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
426	9	88	23,6	15,7	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
46	10	79	22,0	16,5	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
361	11	76	22,8	16,0	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
28	12	91	20,9	16,4	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
464	13	92	22,6	18,7	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
482	14	73	20,0	15,8	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
262	15	102	24,3	20,5	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
310	16	104	23,0		traçada a cada 2,5 m
317	17	90	23,2		traçada a cada 2,5 m
167	18	87	21,2		traçada a cada 2,5 m
294	19	81	20,5		traçada a cada 2,5 m
298	20	81	22,2		traçada a cada 2,5 m

¹CAP = circunferência à altura do peito, (1,30 m).

TABELA 12 - CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES AMOSTRADAS - *Pinus taeda*

Programa	Sequência	¹ CAP (cm)	Altura (m)	Altura com.(m)	Localização das amostra por altura
TA	1	85	16,2	12,50	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
TA	2	87	15,9	11,40	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
TA	3	87	13,6	10,40	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
TA	4	100	15,2	10,95	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
TA	5	99	15,9	11,75	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
TA	6	94	15,2	11,75	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
TA	7	90	15,6	12,75	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
TA	8	96	15,8	12,38	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
TA	9	79	12,9	9,30	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
TA	10	90	14,3	10,97	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
TA	11	81	15,7	11,84	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
TA	12	92	15,6	11,20	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
TA	13	79	15,2	11,20	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
TA	14	86	13,6	10,15	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
TA	15	75	13,7	11,60	base;1,30; 25%; 50%; 75%;100
TA	16	106	16,0		traçada cada 2,5 m
TA	17	91	14,7		traçada cada 2,5 m
TA	18	84	15,0		traçada cada 2,5 m
TA	19	87	15,9		traçada cada 2,5 m
TA	20	83	14,6		traçada cada 2,5 m

¹CAP = circunferência à altura do peito, (1,30 m).

Segundo registros meteorológicos fornecidos pela PISA S.A, as temperaturas médias anuais são de 19,5° (médias máximas de 25° e mínimas de 14°), com ocorrência média de 7 geadas por ano, a precipitação pluviométrica média anual de 1.700 mm e a altitude média da região varia entre 800 e 900 m acima do nível do mar.

O material para identificação botânica das espécies foi coletado, e encaminhado ao Laboratório de Dendrologia do Departamento de Ciências Florestais do Setor de Ciências

Agrárias da Universidade Federal do Paraná, onde foram registrados no Herbário sob os números 8628 como *Pinus maximinoi*, e 8629 como *Pinus taeda*.

5.2 AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO DO MATERIAL

A amostragem seguiu a sistemática prescrita pela Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT – 458, 1972a). As árvores de *Pinus maximinoi* foram selecionadas ao acaso dentro das famílias, classificadas pelo maior desenvolvimento em diâmetro, altura e forma nos respectivos programas, cujas circunferências ao nível do peito variaram de 75 a 100 cm. Para *Pinus taeda*, selecionou-se a partir de um ponto e direção aleatória, árvores com circunferências ao nível do peito variando na mesma classe de CAP.

Foram coletados dois discos de madeira de posições relativas à altura comercial, com aproximadamente 5 cm de espessura, das quinze árvores por espécie. O diâmetro comercial mínimo foi fixado em 8 cm. As posições de corte dos discos corresponderam as alturas: do DAP (diâmetro à altura do peito a 1,30 m), a 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial.

Os discos devidamente codificados e acondicionados foram transportados para o Laboratório de Tecnologia da Madeira, do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, para preparação das amostras para os estudos das características morfológicas dos traqueóides, da descrição anatômica, da composição química quantitativa, da massa específica básica ao longo do fuste das árvores, da determinação da porcentagem de lenho tardio ao longo do fuste, para obtenção de celulose pelo processo sulfato ou *Kraft*, das propriedades das fibras em papel feito a mão da madeira juvenil das espécies.

A Figura 13, ilustra o esquema de coleta de discos para os estudos de determinação de propriedades físicas, anatômicas, químicas e da polpa celulósica. e das toras para a determinação das propriedades de resistência mecânica da madeira.

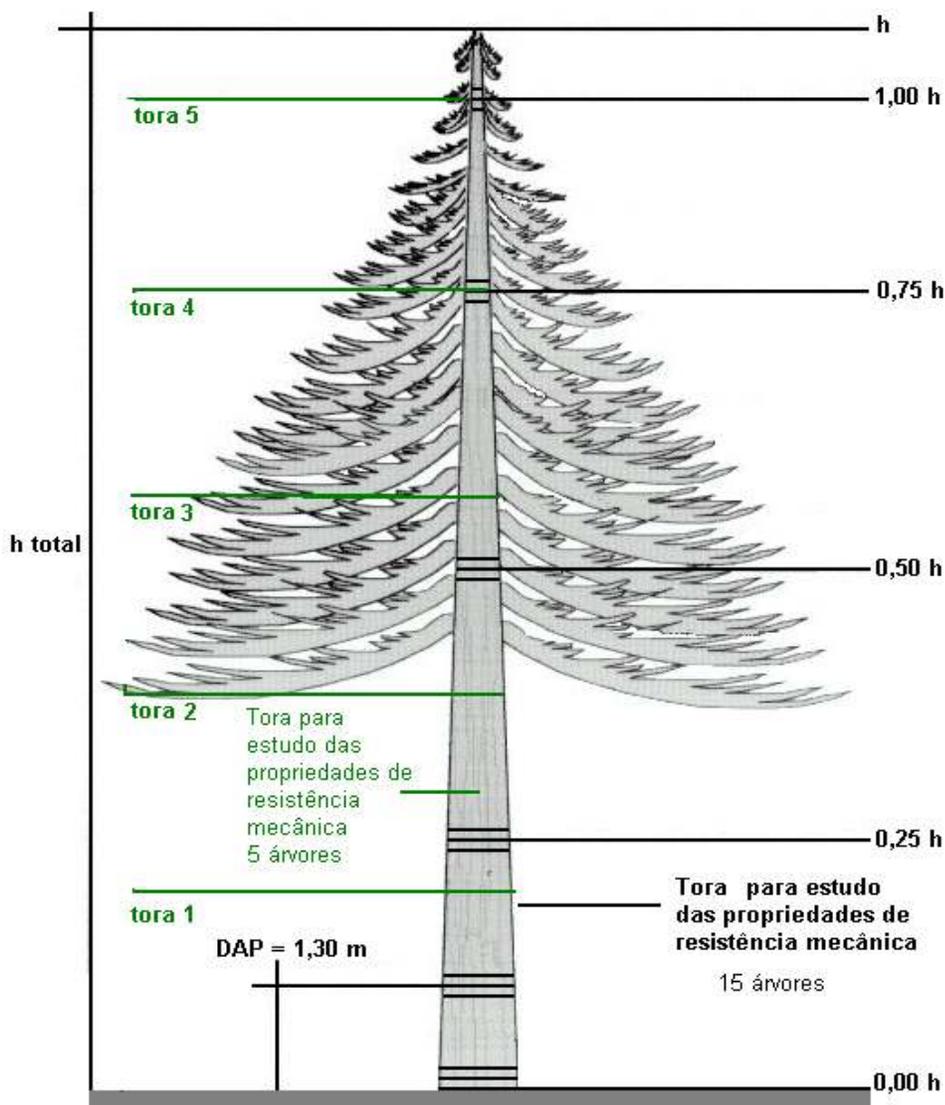


FIGURA 13 - ESQUEMA DE COLETA DE DISCOS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES SELECIONADAS, E DAS TORAS PARA O ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA MECÂNICA.

Das 15 árvores por espécie, foram cortadas toras de 2,50 m de comprimento, a partir da altura do DAP (1,30 m), para determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira. Foram amostradas cinco árvores complementares por espécie, conforme se observa nas Tabelas 11 e 12, que foram cortadas a cada 2,5 m a partir da base e selecionou-se a segunda tora correspondente a altura entre 2,5 e 5,0 m, objetivando-se ampliar a amostragem e o número dos corpos de prova, para o estudo das propriedades de resistência mecânica da madeira. Ressalta-se que, as toras restantes das árvores amostradas foram destinadas a outros

estudos de utilização da madeira, desenvolvidas no Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR.

Todas as toras selecionadas, foram devidamente codificadas e transportadas à Unidade de Processamento de Madeira, do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, localizada na Estação Experimental do Canguiri, onde foram serradas, selecionando-se a seguir as pranchas centrais, que por sua vez seguiram ao Laboratório de Usinagem da Madeira, do mesmo Departamento, para secagem e preparação dos corpos de prova de pequenas dimensões e livres de defeitos, segundo as normas técnicas específicas, para realização dos diferentes ensaios no Laboratório de Tecnologia da Madeira, do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal.

As Figuras 14 a 21, ilustram as etapas de seleção e amostragem e coleta do material para o estudo, das árvores de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*, na área de propriedade da PISA - Papel de Imprensa S.A.



FIGURA 14 - VISTA PARCIAL DA ÁREA DE COLETA DO MATERIAL (KLOCK, 1999).

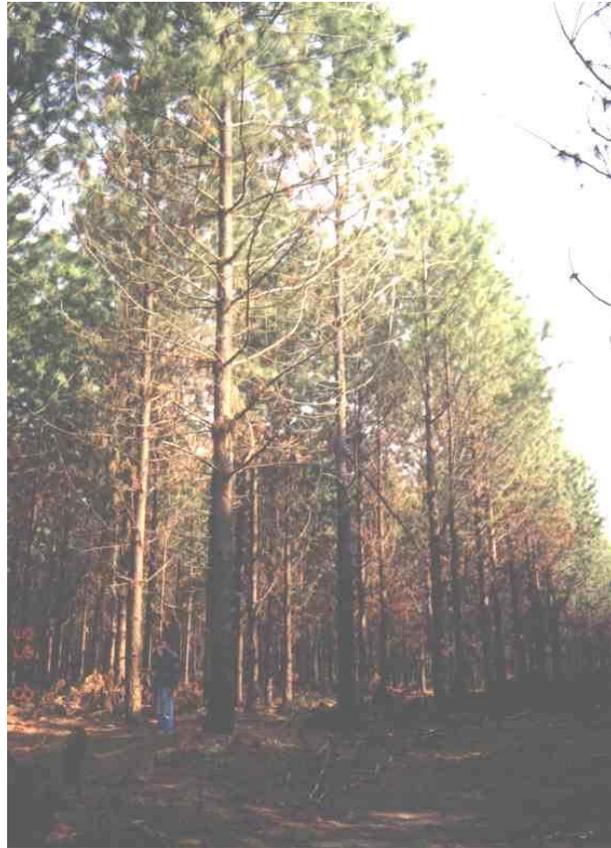


FIGURA 15 - VISTA PARCIAL DO TALHÃO DE *Pinus maximinoi* (KLOCK, 1999).



FIGURA 16 – SELEÇÃO DAS AMOSTRAS DE *Pinus maximinoi* (KLOCK, 1999).



FIGURA 17 - MATERIAL BOTÂNICO DA COPA DE ÁRVORE SELECIONADA (KLOCK, 1999).



FIGURA 18 - VISTA PARCIAL DO TALHÃO DE *Pinus taeda*, (KLOCK, 1999).



FIGURA 19 - SELEÇÃO DE AMOSTRA DE *Pinus taeda*, (KLOCK, 1999).



FIGURA 20 - VISTA GERAL DOS TRONCOS DE ÁRVORES SELECIONADAS (KLOCK, 1999).



FIGURA 21 - RETIRADA DOS DISCOS DE MADEIRA AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES SELECIONADAS (KLOCK, 1999).

5.3 ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA

Utilizando-se o material coletado nas condições anteriormente descritas, determinou-se as seguintes características e propriedades da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*:

- características anatômicas da madeira;
- características morfológicas dos traqueóides;
- relações entre as dimensões dos traqueóides da madeira;
- características gerais das árvores amostradas;
- massa específica básica ao longo do fuste;
- porcentagem de lenho tardio ao longo do fuste;
- propriedades de retratibilidade da madeira;

- propriedades de resistência mecânica da madeira:
 - flexão estática;
 - compressão paralela às fibras;
 - cisalhamento e,
 - dureza da madeira,
- massa específica aparente, e
- porcentagem de lenho tardio nos corpos de prova de resistência mecânica;
- composição química quantitativa da madeira;
- obtenção de celulose e papel feito a mão de cozimento pelo processo *Kraft*, a partir da madeira;
- determinação das propriedades das folhas de papel feitas a mão.

5.3.1 Determinação das características anatômicas da madeira juvenil

Tanto para a descrição microscópica como para a mensuração dos elementos celulares individuais, seguiu-se as recomendações de MUÑIZ (1986) e MUÑIZ & CORADIN (1991).

As amostras de madeira destinadas à obtenção das secções histológicas do xilema foram retiradas dos discos coletados à altura do DAP (1,30 m), de seis árvores por espécie, sorteadas aleatoriamente entre as 15 árvores amostradas. Blocos de madeira foram separados em três posições, no sentido medula – casca, e foram chamados de: interno, o próximo a medula, médio, e externo o próximo a casca. Os blocos foram devidamente orientados nos planos de corte transversal, tangencial e radial, e a seguir amolecidos em água sob fervura para facilitar os cortes.

As secções anatômicas foram cortadas em micrótomo de deslizamento, modelo *Spencer* AO nº 860, com espessuras variando de 18 a 25 micrômetros.

Para coloração das secções anatômicas foi utilizado o método de dupla coloração, safranina e azul de *Astra*. Posteriormente as diferentes secções anatômicas, em cortes de orientação transversal, tangencial e radial, foram desidratadas em série alcoólica ascendente, colocadas em acetato de butila e montadas em lâminas permanentes com meio de montagem *Entellan*.

As características morfológicas dos traqueóides foram determinadas para os discos coletados à altura do DAP (1,30 m), das 15 árvores amostradas por espécie, dos quais retirou-se uma faixa central de 4 cm de largura, contendo ao centro a medula. Deste bloco de madeira, foram separados a partir da medula em direção a casca, os anéis anuais de crescimento correspondentes ao segundo, quarto, sexto e oitavo anos, que por sua vez foram separados em lenho inicial e lenho tardio. As amostras devidamente separadas e codificadas foram submetidas a processo de maceração pelo método de *Jeffrey* (FREUND, 1970).

O material macerado resultante, foi colorido com solução aquosa de safranina a 1%, desidratado em série alcoólica, colocado em seguida em acetato de butila, e montadas cinco lâminas permanentes com meio de montagem *Entellan*, por tipo de lenho, por anel anual de crescimento e por árvore amostrada, para as duas espécies.

Tomou-se o cuidado, na montagem das lâminas, de proceder-se agitação do líquido para manter as células em suspensão, evitando assim, erros de amostragem devido à formação de extratos nas placas de *Petri* que continham o material macerado.

5.3.1.1 Caracterização anatômica da madeira juvenil

As descrições das características anatômicas da madeira juvenil das duas espécies, foram realizadas pela análise das lâminas permanentes contendo os cortes anatômicos, em microscópio de marca *ZEISS*, binocular, com lentes para aumento de até 100 vezes. Foram observados os aspectos anatômicos da madeira das duas espécies e realizadas medições dos raios da madeira juvenil, em altura, por número de células e em micrometros; e a frequência dos raios, por milímetro. Foram realizadas 10 medições aleatórias por lâmina.

5.3.1.2 Características morfológicas dos traqueóides axiais.

As dimensões dos traqueóides axiais foram obtidas por análise microscópica das lâminas preparadas com o material macerado. Foram medidos seis traqueóides, aleatoriamente amostrados por lâmina, num total de 30 traqueóides por tipo de lenho, inicial e tardio, por anel anual de crescimento (segundo, quarto, sexto e oitavo) por árvore e por espécie, totalizando 1800 medições de traqueóides por tipo de lenho por espécie.

As seguintes características foram mensuradas em cada traqueóide:

- comprimento do traqueóide (l)
- largura do traqueóide (diâmetro externo) (D)
- diâmetro do lume (diâmetro interno) (d)
- espessura da parede celular (e)

5.3.1.3 Relações entre dimensões dos traqueóides axiais (fibras)

As relações entre as dimensões dos traqueóides axiais da madeira juvenil de *Pinus maximinnoi* e de *Pinus taeda*, consideradas como importantes indicadores do potencial de uma espécie para a produção de celulose para papel, segundo DINWOODIE (1965) e FOELKEL (1976), foram calculadas a partir das medições realizadas nos traqueóides, como descrito no item anterior, e foram:

a) Índice de enfiamento (IE) - relação entre o comprimento e a largura do traqueóide:

$$IE = l \div D$$

b) Coeficiente de flexibilidade (CFL) - relação entre o diâmetro do lume (interno) e a largura do traqueóide (diâmetro externo), expresso em porcentagem:

$$CFI = d \div D \cdot 100 (\%)$$

c) Fração parede (FP) - relação entre a espessura da parede celular e o raio (externo) do traqueóide, expressa em porcentagem:

$$FP = [e \div (D \div 2)] \times 100$$

d) Relação comprimento do traqueóide e espessura da parede celular (C/E):

$$C/E = l \div e$$

e) Índice de *Runkel* (IR) - relação entre 2 vezes a espessura da parede celular e o diâmetro do lume (interno) do traqueóide:

$$IR = 2 \times e \div d$$

5.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA JUVENIL

5.4.1 Características das árvores amostradas

Foram medidos na amostragem, a circunferência à altura do peito (CAP, a 1,30 m) com casca e as alturas total e comercial. Em laboratório determinou-se a porcentagem de casca, e a partir destas medidas foram calculados os volumes comerciais com casca e sem casca, a massa específica básica ponderada e a porcentagem de lenho tardio ponderada para cada árvore.

Em cada disco por altura relativa, e à altura do DAP (1,30 m), das quinze árvores amostradas por espécie, foram medidos em sentidos perpendiculares os diâmetros com casca e sem casca, os dados anotados em fichas próprias, juntamente com o comprimento da respectiva seção, e utilizados para cálculo em planilha eletrônica, dos volumes com casca e sem casca por seção e por árvore amostrada, e a porcentagem de casca por seção. A partir dos volumes calculados por seções, ponderou-se a porcentagem média de casca para cada árvore.

5.4.2 Determinação da massa específica da madeira

A massa específica da madeira juvenil foi determinada de duas formas:

1. A massa específica básica ao longo do fuste para cada árvore amostrada, nos discos de madeira coletados nas alturas relativas; e a massa específica básica de corpos de prova utilizados na determinação das propriedades de retratibilidade da madeira;

2. A massa específica aparente a 12% de umidade, determinada nos corpos de prova preparados para a determinação das propriedades de retratibilidade e de resistência mecânica da madeira em flexão estática, compressão paralela à fibras, cisalhamento e dureza; após acondicionamento em ambiente climatizado, após atingirem a umidade de equilíbrio de 12%.

Os valores determinados para as massas específicas básicas e aparentes a 12% de umidade dos corpos de prova de retratibilidade, foram analisados estatisticamente por regressão linear simples, para se verificar sua correlação e obter-se equações para estimar a massa específica aparente a 12% de umidade para a madeira juvenil das duas espécies.

5.4.2.1 Determinação da massa específica básica da madeira juvenil

A determinação da massa específica básica (relação entre massa seca em estufa e o volume no estado completamente saturado), foi realizada com os discos sem casca, coletados em 6 posições, ao longo do fuste de cada árvore, ou seja na base, DAP (1,30 m), 0,25 - 0,50 - 0,75 e 1,0 da altura comercial.

Foi também determinada em corpos de prova, com dimensões nominais de 2,5 x 2,5 x 10,0 cm, utilizados na determinação das contrações máximas (retratibilidade), de número variável de corpos de prova por árvore amostrada, totalizando para *Pinus maximinoi* 240 amostras e para *Pinus taeda* 228 amostras, preparadas a partir da prancha de madeira obtida entre a altura do DAP 1,30 m e 0,25 da altura comercial, em toda a extensão transversal e longitudinal da peça.

A massa específica básica foi calculada utilizando-se a relação:

$$\rho_b = Ms \div Vu \quad (\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$$

onde:

$$\rho_b = \text{massa específica básica (kg}\cdot\text{m}^{-3})$$

$$Ms = \text{massa do disco seco em estufa a } 103 \pm 2^\circ\text{C (kg)}$$

$$Vu = \text{volume do disco em estado saturado (m}^3\text{)}.$$

A determinação do volume foi feita pelo método de pesagem. Os discos foram inicialmente medidos, determinando-se os diâmetros com casca e sem casca, descascados colocados em água para saturação, facilitando desta maneira a obtenção do volume. Após a determinação do volume os discos foram colocados em estufa com temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ para secagem até peso constante, obtendo-se o peso completamente seco.

Para o cálculo da massa específica básica média da árvore, ponderou-se a massa específica ao longo do fuste, uma vez que cada disco representa um valor correspondente a uma maior ou menor porção dentro do volume total da árvore, dependendo de sua localização.

5.4.2.2 Determinação da massa específica aparente a 12% de umidade da madeira juvenil

A massa específica aparente foi determinada através dos corpos de prova usados na determinação da retratibilidade e das propriedades de resistências mecânicas da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*, pela relação massa (M_{ap}) na ocasião do ensaio, e volume (V_{ap}) na ocasião do ensaio, após acondicionamento em câmara climatizada com temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$, e umidade relativa de $65 \pm 3\%$, para se obter umidade de equilíbrio da madeira próximo a 12%.

O volume foi determinado pelo método estereométrico: através da medição das dimensões dos corpos de prova, com micrômetro e paquímetro digitais.

A relação utilizada para o cálculo foi:

$$\rho_{ap} = M_{ap} \div V_{ap} \quad (\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$$

onde:

ρ_{ap} = massa específica aparente ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

M_{ap} = massa do corpo de prova após climatização, por ocasião do ensaio (kg).

V_{ap} = volume do corpo de prova após climatização, por ocasião do ensaio (m^3).

5.4.3. Determinação da porcentagem de lenho tardio

A porcentagem de lenho tardio foi determinada nos discos sem casca, coletados em 6 posições, ao longo do fuste de cada árvore, ou seja na base, DAP (1,30 m), 0,25 - 0,50 - 0,75 e 1,0 da altura comercial, após a determinação da massa específica básica; e em todos os corpos de prova destinados aos ensaios físicos e das resistências mecânicas da madeira, após a realização dos ensaios, quando estes e os discos, foram lixados nas faces transversais.

Mediu-se com escala graduada os diâmetros perpendicularmente em cada disco das diferentes alturas relativas, demarcando-se as faixas de lenho tardio nos dois sentidos medidos, somando-se as medidas e calculando-se a porcentagem em relação aos diâmetros, obtendo-se a média dos dois sentidos. Para a demarcação do lenho tardio e inicial dentro de cada anel de crescimento utilizou-se uma lupa quando necessário.

De forma análoga, procedeu-se a determinação da porcentagem do lenho tardio nos corpos de prova, nos quais, mediu-se a dimensão total, na face transversal, perpendicularmente aos anéis de crescimento, medindo-se e somando as faixas correspondentes ao lenho tardio, e calculando-se a porcentagem em relação a dimensão total.

Nos corpos de prova o procedimento foi realizado nas 2 faces transversais, obtendo-se a média para cada corpo de prova.

A relação utilizada para o cálculo foi:

$$\% \text{ LT} = (\sum \text{lt} \div \text{DT}) \times 100 \quad (\%)$$

onde:

% LT = porcentagem de lenho tardio (%)

$\sum \text{lt}$ = somatória das faixas de lenho tardio no disco ou corpo de prova

DT = diâmetro total, ou dimensão total da face transversal do corpo de prova, no sentido perpendicular aos anéis de crescimento.

5.4.4 Determinação da retratibilidade

Foram determinados os coeficientes de contração máxima volumétrica, e lineares: tangencial, radial, e longitudinal, anisotropia de contração e coeficientes de retratibilidade volumétrico, tangencial e radial.

Os corpos de prova foram confeccionados nas dimensão de 2,5 x 2,5 x 10,0 cm, de acordo com a norma COPANT 462 (1972b), sendo bem orientados nos planos transversal, radial e tangencial. Foram selecionados 240 corpos de prova para *Pinus maximinoi* e 228 para *Pinus taeda*, obtidos das 15 árvores amostradas por espécie, livre de defeitos.

Foram realizadas medições nos corpos de prova das dimensões tangencial e radial com micrômetro digital, e a longitudinal com paquímetro digital, nas condições verde ($U > 30\%$); após acondicionamento em câmara climatizada com temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$, e umidade relativa de $65 \pm 3\%$ e após secagem em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até peso constante, sempre na mesma posição que foi previamente marcada no corpo de prova, conforme ilustra a Figura 22.

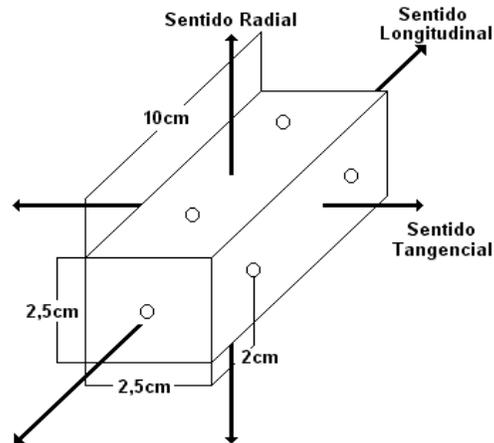


FIGURA 22 - CORPO DE PROVA PARA DETERMINAÇÃO DA RETRATIBILIDADE DA MADEIRA, ACORDO COM A NORMA COPANT 462 (1972b).

Todas as medidas foram anotadas em formulários próprios, e digitados em planilha eletrônica. Os cálculos foram realizados através das seguintes fórmulas:

$$\beta_v = ((V_u - V_o) \div V_u) \times 100 \quad (\%)$$

$$\beta(t,r,l) = ((L_u - L_o) \div L_u) \times 100 \quad (\%)$$

$$CR(v) = (V_{ac} - V_o) \times P_o \div V_o \times (P_{ac} - P_o)$$

$$CR(t,r) = (L_{ac} - L_o) \cdot P_o \div L_o \times (P_{ac} - P_o)$$

$$AC = \beta_t \div \beta_r$$

onde:

β_v = coeficiente de contração máxima volumétrica (%)

$\beta(t,r,l)$ = coeficiente de contração máxima linear (%)

CR = coeficiente de retratibilidade (%/%)

AC = anisotropia de contração

L_u = dimensão no estado verde (mm)

L_{ac} = dimensão após acondicionamento (mm)

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

Pac = massa do corpo de prova após acondicionamento (g)

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

Vac = volume do corpo de prova após acondicionamento (mm^3)

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

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

v = volumétrica

t = direção tangencial

r = direção radial

l = direção longitudinal

5.5. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DA MADEIRA JUVENIL

As propriedades de resistência mecânica determinadas neste estudo foram: flexão estática, compressão paralela às fibras da madeira, cisalhamento e dureza em pequenos corpos de prova livre de defeitos, determinadas em estado seco ao ar, com aproximadamente 12% de umidade, após acondicionamento em ambiente controlado a $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65 \pm 3\%$ de Umidade Relativa, até obtenção de constância nos pesos dos corpos de prova.

Os corpos de prova foram confeccionados a partir das pranchas serradas das toras de 2,50 m de comprimento ente a altura do DAP (1,30 m) e 0,25 da altura comercial, obtidas de cada uma das 15 árvores selecionadas das duas espécies, acrescidos dos corpos de prova confeccionados das pranchas serradas das segundas toras de 2,50 m, entre as alturas de 2,50 e 5,0 m de altura, de cinco árvores complementares para cada espécie, amostradas na mesma classe de diâmetro, obtendo-se assim resultados médios para 20 árvores no total.

A confecção dos corpos de prova e a execução dos ensaios, foram realizados de acordo com as prescrições das normas COPANT 555 (1973), COPANT464 (1972c); COPANT 463 (1972d) e COPANT 465 (1972e), para os testes de flexão estática, compressão paralela às fibras, cisalhamento e dureza, respectivamente.

5.5.1 Resistência a flexão estática

Os corpos de prova utilizados nos ensaios de flexão estática foram de 2 x 2 x 30 cm, de acordo com item 4.1.2 da norma COPANT 555 (1973), em razão dos diâmetros relativamente baixos e para se obter corpos de prova livres de defeitos. O vão foi de 28 cm, para obter-se a relação vão/altura mínima de 14:1, minimizando desta forma o efeito de forças de cisalhamento sobre os resultados obtidos. A Figura 23 ilustra esquematicamente o corpo de prova para o teste de flexão estática.

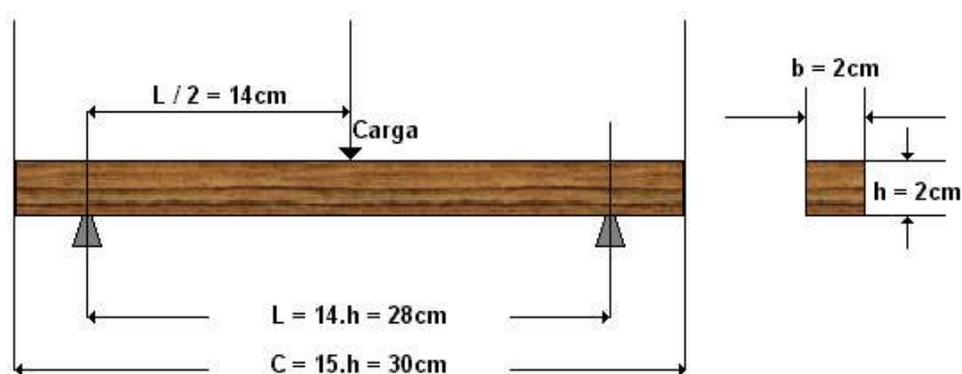


FIGURA 23 - CORPO DE PROVA PARA O TESTE DE FLEXÃO ESTÁTICA.

As deformações e cargas no limite proporcional foram obtidas de diagramas confeccionados através de programa próprio da máquina de ensaio durante os ensaios.

Foram selecionados 191 corpos de prova para *Pinus maximinoi* e 222 corpos de prova para *Pinus taeda*.

O equipamento utilizado para execução dos ensaios de flexão estática foi uma máquina de ensaio universal de marca *EMIC*, de procedência nacional, pertencente ao Laboratório de Tecnologia da Madeira, do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, da Universidade Federal do Paraná. Os implementos necessários ao teste executado foram defletômetro, suportes, célula de carga, implementos próprios para o ensaio, programa de microcomputador próprio para controle do ensaio, cálculos e confecção de gráficos carga-deformação.

Os resultados dos ensaios e dados obtidos dos corpos de prova e dos diagramas carga-deformação foram gravados em arquivos próprios. Os Módulos de Ruptura e de Elasticidade, foram fornecidos pela planilha de trabalho do programa de controle do ensaio.

Os Módulos de Ruptura (MOR) e de Elasticidade (MOE) foram calculados através das fórmulas:

$$\text{MOR} = \frac{3}{2} \times \frac{\text{Pmax} \times \text{L}}{\text{b} \times \text{h}^2} \quad (\text{MPa})^*$$

Onde:

MOR = resistência máxima à flexão (MPa)

Pmax = carga máxima aplicada no momento da ruptura (kgf)

L = vão (cm)

b,h = largura e altura da peça de madeira (cm)

$$\text{MOE} = \frac{1}{4} \times \frac{\text{Plp} \times \text{L}^3}{\text{dlp} \times \text{b} \times \text{h}^3} \quad (\text{MPa})^1$$

Onde:

MOE = Módulo de elasticidade à flexão (MPa)

Plp = carga no limite proporcional (kgf)

dlp = deformação no limite proporcional

L = vão (cm)

b, h = largura e altura da peça de madeira (cm)

¹ Unidade recomendada pelo S.I. , convertendo-se kgf.cm⁻² para Pa (multiplica-se por 9,80665 E +04).

5.5.2 Resistência à compressão paralela às fibras:

Os corpos de prova utilizados foram os previstos pela COPANT 464 (1972c), de 5 x 5 x 20 cm, o que equivale a uma relação h/a=4, livre de defeitos e bem orientados. Os ensaios

foram realizados em máquina de ensaios universal de marca *TINIUS OLSEN*, com capacidade de 0,3 a 30 toneladas, de procedência norte-americana, pertencentes ao Laboratório de Tecnologia da Madeira, do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, da Universidade Federal do Paraná. Os implementos necessários ao ensaio de compressão paralela às fibras, foram defletômetro, suportes, célula de carga, implementos próprios para o ensaio, programa de microcomputador próprio para controle do ensaio, cálculos e confecção de gráficos.

Os resultados dos ensaios e dados obtidos dos corpos de prova e dos diagramas carga-deformação foram gravados em arquivos próprios, transferidos para planilha eletrônica de cálculo, obtendo-se os Módulos de Ruptura e de Elasticidade, pela planilha e gráfico carga-deformação elaborado, exemplo é ilustrado na Figura 24. Foram selecionados 187 corpos de prova para *Pinus maximinoi* e 154 para *Pinus taeda*.

Os Módulos de Ruptura (MOR) e de Elasticidade (MOE) de compressão paralela às fibras, foram calculados através das fórmulas:

$$\text{MORc} = \frac{P_{\max}}{A} \text{ (MPa)}^*$$

Onde:

MORc= máxima resistência à compressão axial (MPa)

Pmax = carga máxima aplicada no momento da ruptura (kgf)

A = área submetida ao esforço (cm²)

$$\text{MOE}_c = \frac{Plp \times L}{a \times b \times dlp} \text{ (MPa)}^1$$

Onde:

MOE_c = Módulo de Elasticidade à compressão (MPa)

Plp = carga no limite proporcional (kgf)

dlp = deformação no limite proporcional (cm)

L = vão (cm)

a x b = área de seção transversal do corpo de prova (cm²)

¹ Unidade recomendada pelo S.I. , convertendo-se kgf.cm⁻² para Pa (multiplica-se por 9,80665 E +04)

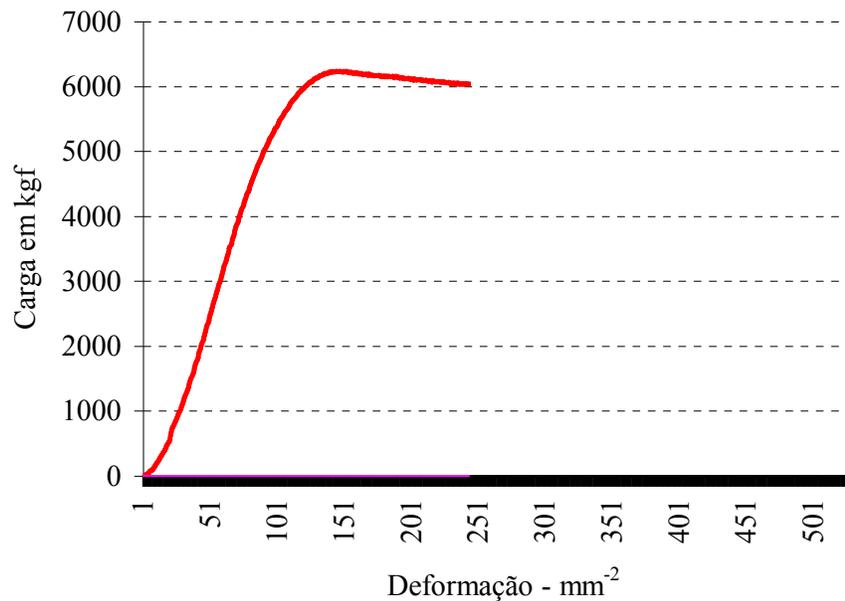


FIGURA 24 - EXEMPLO DE GRÁFICO CARGA-DEFORMAÇÃO DETERMINADO EM ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DE CORPO DE PROVA DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus taeda*.

5.5.3. Resistência ao cisalhamento

A Figura 25, ilustra o corpo de prova de cisalhamento utilizado nos ensaios, segundo a COPANT 463 (1972d).

A seção de trabalho (5 x 5 cm) foi medida com paquímetro antes da realização do ensaio, e a resistência ao cisalhamento foi calculada através da seguinte expressão:

$$\tau_{\max} = \frac{P_{\max}}{b \times h} \quad (\text{MPa})$$

Onde:

τ_{\max} = tensão máxima (Mpa)

P max = carga máxima (kgf)

b x h = área sujeita ao esforço (cm²)

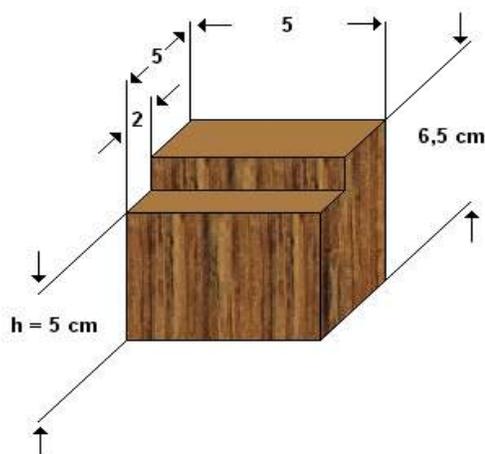


FIGURA 25 - CORPO DE PROVA PARA O TESTE DE CISALHAMENTO SEGUNDO A COPANT 463 (1972d).

O valor da tensão de cisalhamento depende principalmente do sentido de crescimento da madeira.

No plano tangencial há uma grande influência do crescimento, ou da diferença entre os lenhos inicial e tardio.

No plano radial há grande influência dos raios e madeiras com raios largos resultam em baixa resistência ao cisalhamento. Assim sendo, para melhor comparação entre as propriedades de resistência ao cisalhamento da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*, determinou-se o cisalhamento nos dois sentidos de crescimento.

Para a determinação do cisalhamento tangencial foram selecionados 194 corpos de prova para *Pinus maximinoi* e 162 para *Pinus taeda*, para o cisalhamento radial, 162 corpos de prova para *Pinus maximinoi* e 139 corpos de prova para *Pinus taeda*.

5.5.4 Resistência a dureza

A norma COPANT – 465 (1972e), adota o método que consiste em medir o esforço necessário para introduzir no topo e nas faces laterais (tangencial e radial) e axial ou longitudinal, de uma peça de madeira, uma semi esfera de aço de 1,13 cm de diâmetro, até uma profundidade igual ao seu raio. O esforço de penetração é medido em kgf ou N no

sistema internacional.

As dimensões do corpo de prova foram de 5 x 5 x 15 cm, sendo realizados seis impressões (duas por plano de corte). Foram selecionados 69 corpos de prova livres de defeitos para *Pinus maximinoi* e 91 corpos de prova para *Pinus taeda*.

5.6. ANÁLISES QUÍMICAS QUANTITATIVAS DA MADEIRA JUVENIL

Para a análise das propriedades químicas quantitativas da madeira, as amostras foram provenientes dos discos coletados na altura do DAP (1,30 m) das 15 árvores por espécie, que após descascados e secos ao ar foram transformados em cavacos em serra fita e em seguida em serragem, numa primeira etapa em moinho de martelo e na segunda etapa em moinho laboratorial de facas, tipo "Wiley". A serragem utilizada na experimentação foi classificada em um conjunto de peneiras sob vibração e a fração que atravessou a peneira de malha nº 16 internacional (40 mesh¹) e ficou retida na peneira de malha nº 24 internacional (60 mesh¹) foi utilizada nos ensaios. Procedeu-se então, ao acondicionamento da serragem em sacos plásticos. Para a análise dos constituintes químicos da madeira foram realizadas três repetições para cada amostra.

Com base nas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e da Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI, 1994), foram realizadas as seguintes determinações químicas :

- teor de extraíveis da madeira em água – NBR7988
- teor de extraíveis da madeira em hidróxido de sódio a 1% – NBR7990
- teor de extraíveis da madeira com etanol:benzeno – NBR7991
- extrativos totais da madeira – NBR7987 - T204 om-88
- teor de holocelulose, calculada por diferença.
- teor de lignina, T222 om-88
- teor de material inorgânico (cinzas), T211om-93

¹ mesh , número de aberturas por polegada (2,54 cm) linear.

5.7. PRODUÇÃO DE CELULOSE *KRAFT* A PARTIR DA MADEIRA JUVENIL

O processo químico de produção de celulose utilizado para os cozimentos experimentais foi o processo sulfato ou *Kraft*.

O material utilizado para transformação em cavacos e celulose foi obtido dos discos coletados na altura do DAP (1,30 m) do fuste das 15 árvores amostradas por espécie. Os cavacos foram secos ao ar e acondicionados para processamento.

As condições experimentais de cozimento para a madeira juvenil das duas espécies estudadas são apresentadas na Tabela 13. Estas condições foram estabelecidas para se obter celulose com número *Kappa* em torno de 30, para comparação com resultados de celuloses de espécies do gênero *Pinus*. Trata-se de grau de deslignificação bastante comum para a madeira de coníferas (FOELKEL, 1976 e WRIGHT et al, 1996).

Para se obter o número *Kappa* previsto, o cozimento foi controlado para se chegar a um H total de 1150.

Os cozimentos experimentais foram realizados com 3 repetições.

Os cozimentos foram realizados em digestor rotativo de aço inoxidável, com 2 a 3 rpm, com capacidade de 20 litros, aquecido eletricamente e dotado de termômetro e manômetro, pertencente ao Laboratório de Polpa e Papel do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

TABELA 13 - CONDIÇÃO EXPERIMENTAL DE COZIMENTO PARA ESTUDO DA QUALIDADE DOS TRAQUEÓIDES NA CELULOSE *KRAFT* DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*

Variáveis	Condições
Álcali ativo ¹ (%)	18
Sulfidez ² (%)	25
Relação Licor:Madeira	4:1
Temperatura máxima °C	170
Tempo à Temperatura máxima (min)	60
Quantidade de madeira seca (g)	1000
Fator H	1150
Nº <i>Kappa</i>	30

¹ Porcentagem total de NaOH + Na₂S em relação ao peso seco dos cavacos, calculados como Na₂O.

² Porcentagem de Na₂S em relação ao álcali ativo, calculado como Na₂O.

Após os cozimentos a celulose obtida foi lavada, depurada, e acondicionada em sacos plásticos para confecção de folhas de papel. Foram determinados o rendimento bruto, e teor de rejeitos.

5.7.1. Determinação do número *Kappa* da celulose

O objetivo da determinação do número *Kappa* é a verificação da branqueabilidade, ou grau de deslignificação da celulose. Segundo a norma NBR 7537-1997, ABNT (1998), o "número *Kappa*", é definido como o número de milímetros de uma solução de permanganato de potássio (KMnO₄), 0,1N consumido por um grama de pasta celulósica, equivalente a seco em estufa a 105 ± 2 °C, sob as condições específicas de temperatura, e especificadas no método. Os resultados são corrigidos para obter um consumo de 50% (massa/massa) de permanganato em contato com a amostra.

Para a determinação do número *Kappa*, obteve-se amostras dos cozimentos, representativas do conjunto de celulose a ser ensaiada e para cada determinação preparou-se amostras de 3 a 4 g de celulose absolutamente seca.

O resultado é expresso como valor numérico dado através das equações

$$V_1 = \frac{(V_2 - V_3) N}{0,02 \times 5}$$

$$K = \frac{V_1 \times d}{m}$$

Onde:

V₁ é o volume da solução de permanganato de potássio (KMnO₄) 0,1 N consumido na determinação, em ml;

V₂ é o volume da solução de tiosulfato de sódio (Na₂S₂O₃) consumido na prova em branco, em ml;

V₃ é o volume da solução de tiosulfato de sódio (Na₂S₂O₃) consumido na determinação, em ml;

N é a normalidade da solução de tiosulfato de sódio (Na₂S₂O₃);

d é o fator de correção para um consumo de permanganato a 50% (massa/massa); d é dependente do valor de V_1 . É baseado em estudo experimental, e obtido pela equação $\log K^x = \log (V_1 / m) + 0,00093 \times (V_1 - 50)$

m é a massa de pasta celulósica equivalente a massa seca em estufa a 105 ± 2 °C, em g.

5.7.3. Ensaio físicos e mecânicos do papel confeccionado a mão a partir da celulose obtida de *Pinus maximinoi* e *Pinus. taeda*

5.7.2 Ensaio físicos e mecânicos do papel confeccionado a mão a partir da celulose obtida de *Pinus maximinoi* e *Pinus. Taeda*

As celulosas obtidas foram refinadas em laboratório, em moinho tipo *JOKRO*, de conformidade com a norma ABNT 14346, ABTCP (1998), utilizando-se 16 g absolutamente seca por panela, numa consistência de 6%. A refinação foi conduzida em 3 tempos - 20, 40 e 60 minutos, além do tratamento testemunha - sem refinação, denominado sem refino. Para cada tratamento foi determinado a resistência à drenagem pelo aparelho *SCHOPPER-RIEGLER*, de acordo com a norma ABNT 14031.

A formação de folhas foi feita em formador tipo *KOETHEN RAPID*, para cada tempo de moagem foram formadas sete folhas.

As folhas foram destinadas à realização de testes físicos e mecânicos, sendo previamente acondicionadas em ambiente com temperatura e umidade relativa controlados ($23^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$, e U.R. de $50\% \pm 2\%$) conforme norma da ABTCP P4 -1994.

Os seguintes testes físicos e mecânicos foram realizados, em conformidade com as normas da ABTCP (1998):

- gramatura (P6-1996);
- densidade aparente, e espessura (P5-1994 corrigida em 1998);
- resistência ao rasgo (P9-1994);
- resistência ao estouro (P8-1994);
- resistência à tração (P7-1994).

Os ensaios foram realizados em equipamentos do Laboratório de Polpa e Papel do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

4.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Na análise estatística dos resultados obtidos nas determinação das propriedades anatômicas, físicas, de resistências mecânicas, da composição química quantitativa, e da celulose e papel da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, os seguintes: parâmetros estatísticos básicos foram determinados: média, desvio padrão, variância, intervalo de confiança, valores máximo e mínimo.

Para a comparação das características e propriedades médias da madeira juvenil, entre as espécies foi realizada análise de variância no caso do número de amostras serem maiores que 30, após realizado o teste de *Levene* de homogeneidade das variâncias.

Para as comparações entre as características da madeira com número de repetições menores que 30, utilizou-se o teste “t” de *Student*, testando-se em todos os casos a Hipótese H_0 , de igualdade entre as médias das espécies, aceitando-se a Hipótese no caso de não ocorrerem diferenças significativas, verificadas pela comparação dos valores calculados dos comparadores, F (para análise de variância) ou “t” (teste de *Student*), rejeitando-se a Hipótese de igualdade no caso dos valores calculados serem maiores que os valores tabelados dos comparadores, a 95% ou 99% de probabilidade.

Aplicou-se também, análise de variância para verificação da igualdade entre os valores médios de características e propriedades observadas dentro das espécies, aplicando-se também o teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade, para tamanho idêntico de amostras ou para número desigual de amostras, dependendo da propriedade, para comparação de médias entre as alturas relativas, para verificação da variação na posição no tronco, e entre os anéis anuais de crescimento.

Além dos testes mencionados, foi analisado o modelo de regressão linear simples entre as características e propriedades estudadas, e as possíveis relações existentes entre essas propriedades para as espécies: modelo linear ($y = a + bx$), determinando-se os coeficientes de correlação existentes entre as propriedades da madeira juvenil para as duas espécies estudadas.

Utilizou-se para os cálculos estatísticos simples, os testes de homogeneidade das variâncias, as análise de variância, teste “t”. e análise de regressão, com montagem dos gráficos de correlações. O programa utilizado foi o “Statistica”, versão 5, licenciado para o Departamento de Estatística da Universidade Federal do Paraná.

Os resultados obtidos nesse estudo são apresentados da seguinte forma:

Características anatômicas da madeira juvenil:

Apresenta-se a descrição anatômica para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, e para *Pinus taeda* L., fazendo-se a comparação entre os valores médios encontrados nas medições das características dos raios, testando-se ao final a hipótese H_0 de igualdade entre as médias.

Os resultados das dimensões dos traqueóides axiais da madeira juvenil, referem-se as medições realizadas nas amostras de 15 árvores por espécie, coletadas a altura do peito (1,30m), para o comprimento, diâmetro externo, diâmetro interno e espessura da parede celular dos traqueóides axiais de lenho inicial e tardio, determinados no segundo, quarto, sexto e oitavo anel anual de crescimento.

Apresenta-se inicialmente as médias gerais destas características para ambas as espécies, comparando-as através de análise de variância, testando-se a hipótese H_0 de igualdade entre as médias das espécies, em seguida apresenta-se os resultados médios determinados para cada espécie, por anel e tipo de lenho; comparando as médias entre anéis pelo teste de Tukey, e entre os lenhos inicial e tardio para as espécies pelo teste "t" de Student, e a igualdade entre os anéis anuais de crescimento entre as espécies, através de análise de variância..

A partir das dimensões dos traqueóides axiais, calculou-se as relações entre estas, sendo a apresentação dos resultados realizada como para as características morfológicas dos traqueóides.

Propriedades físicas da madeira juvenil:

Apresenta-se inicialmente as características como circunferência á altura do peito (1,30 m), altura total e comercial, volume comercial com casca e sem casca, porcentagem de casca, massa específica básica média ponderada, e porcentagem de lenho tardio média ponderada para 15 árvores amostradas por espécie, testando-se a hipótese de igualdade entre estas através do teste "t" de Student. Em seguida, detalha-se os resultados médios obtidos para a massa específica média e porcentagem de lenho tardio ao longo do fuste, nas alturas

relativas, para ambas as espécies, testando-se as hipóteses de igualdade entre os valores médios nas diferentes alturas dentro de cada espécie, e entre as espécies. Finalizando, apresenta-se correlações lineares entre as características das árvores para *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*.

As propriedades de retratibilidade da madeira juvenil, contrações máximas, anisotropia de contração e coeficientes de retratibilidade, além da massa específica aparente a 12% de umidade, massa específica básica e porcentagem de lenho tardio para os corpos de prova, referem-se aos resultados obtidos de corpos de prova confeccionados da madeira de 15 árvores por espécie, retirada da tora entre a altura do peito (1,30m) e a altura relativa de 0,25 da altura comercial. São apresentados os resultados médios obtidos por espécie, testando-se a hipótese de igualdade entre ambas por análise de variância, apresenta-se também os resultados médios obtidos por árvore amostrada de cada espécie, testando-se também a igualdade entre estas. Em seguida, apresenta-se as correlações determinadas entre as propriedades para *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*.

Propriedades mecânicas da madeira juvenil:

As propriedades mecânicas da madeira juvenil determinadas nesse estudo, para *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, foram resistência a flexão estática, resistência à compressão paralela as fibras, resistência ao cisalhamento e dureza. Os resultados apresentados referem-se aos valores obtidos de corpos de prova confeccionados da madeira retirada das toras coletadas a partir da altura do peito (1,30m) até a altura relativa de 0,25% da altura comercial de vinte árvores amostradas por espécie.

Apresenta-se para as propriedade de resistência a flexão estática e compressão paralela as fibras, os valores médios obtidos para os módulos de ruptura e de elasticidade; a massa específica aparente e porcentagem de lenho tardio dos corpos de prova utilizados, por espécie e em razão da importância dessas propriedades, apresenta-se os valores médios por árvores amostradas.

A tensão máxima ao cisalhamento nos sentidos tangencial e radial, a massa específica aparente a 12% de umidade e porcentagem de lenho tardio para os corpos de prova. Os resultados obtidos para da determinação da dureza são apresentados para os três sentidos de

corde, tangencial, radial e longitudinal, juntamente com a massa específica aparente e porcentagem de lenho tardio.

Apresenta-se os resultados do teste de hipótese H_0 de igualdade para as propriedades entre as espécies. As correlações determinadas entre as propriedades de resistência com a massa específica aparente a 12% de umidade e a porcentagem de lenho tardio, são apresentadas ao término de cada item específico. Os resultados estatísticos básicos obtidos são apresentados no anexo 1.

Composição química quantitativa:

Os resultados determinados para a composição química quantitativa da madeira juvenil da duas espécies estudadas, referem-se aos valores médios obtidos das repetições realizadas para cada análise química, que foram obtidas de amostras preparadas e homogeneizadas dos discos coletados a altura do peito (1,30m) de quinze árvores amostradas por espécie.

Propriedades da celulose e papel feito a mão produzida com a madeira juvenil:

Os resultados apresentados referem-se as propriedades resultantes do processo de polpação *Kraft*, a partir de cavacos homogeneizados e obtidos dos discos de madeira coletados a altura do peito (1,30m) de quinze árvores de cada espécie, empregado na obtenção de celulose em laboratório. Os resultados médios de rendimento, número *Kappa*, grau de refino; da celulose; as propriedades físicas, e mecânicas das folhas de papel feitas a mão em laboratório, dos tratamentos de refinação adotados são apresentados por espécie, testando-se a hipótese H_0 de igualdade entre ambas.

Os resultados estatísticos básicos determinados para as características são apresentados no anexo 1.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DA MADEIRA

6.1.1 Descrição das características microscópicas da madeira juvenil

Pinus maximinoi H.E. Moore

Anéis anuais de crescimento: Distintos a pouco distintos. Transição do lenho inicial para tardio gradual. Alguns anéis estreitos alternando com anéis mais largos.

Traqueóides axiais: No lenho inicial, de seção transversal poligonal, sem meatos intercelulares. No lenho tardio de paredes mais espessas, de seção poligonal a retangular. Comprimento dos traqueóides variando de 1260 a 6600 μm , média de 3174 μm no lenho inicial e de 3271 μm no lenho tardio; diâmetros externos de 15 a 80 μm , média de 44,7 μm no lenho inicial e de 42,6 μm no lenho tardio; diâmetros do lume de 5 a 70 μm , média de 33,4 μm no lenho inicial e de 27,3 μm no lenho tardio; e paredes celulares de 1,25 a 18,75 μm de espessura, média de 5,7 μm no lenho inicial e de 7,6 μm no lenho tardio.

Pontoações: areoladas dispostas em fileiras unisseriadas.

Raios: Apresentam-se de forma predominante unisseriados e localmente bisseriados. Tecido radial heterocelular, constituído por dois tipos de células: de parênquima e traqueóides radiais marginais com abundante indenturas. Freqüência de 1 a 7 raios por mm, com média de 3,6 raios, com 13 a 520 μm de altura, média de 170,7 μm e com 2 a 24 células (de altura), média de 8,5 células. Pontoações no campo de cruzamento do tipo pinóide.

Canais resiníferos: Axiais e radiais, de origem esquizógena, com maior concentração no lenho inicial. Espessura da parede celular das células epiteliais é fina, com parênquima axial associado.

***Pinus taeda* L.**

Anéis anuais de crescimento: Distintos. Transição do lenho inicial para tardio gradual a brusca. Alguns anéis estreitos alternando com anéis mais largos.

Traqueóides axiais: No lenho inicial, a seção transversal, apresenta formato poligonal, sem meatos intercelulares. No lenho tardio, de paredes mais espessas de formato retangular. Comprimento dos traqueóides variando de 930 a 5850 μm , média de 2934 μm no lenho inicial e de 2979 μm no lenho tardio; diâmetros externos de 17,5 a 75 μm , média de 42,4 μm no lenho inicial e de 38,5 μm no lenho tardio; diâmetros do lume de 5 a 70 μm , média de 32,9 μm no lenho inicial e de 22,3 μm no lenho tardio; e paredes celulares de 1,25 a 18,75 μm de espessura, média de 4,7 μm no lenho inicial e de 8,1 μm no lenho tardio.

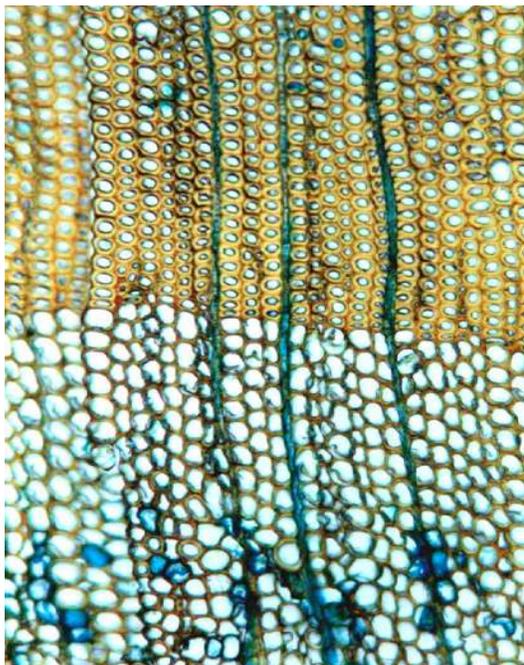
Pontoações: areoladas dispostas em fileiras principalmente unisseriadas, apresentando-se às vezes de forma oposta ou alternas. Crássulas presentes.

Raios: Apresentam-se de forma predominante unisseriados e localmente bisseriados e fusiformes. Tecido radial heterocelular, constituído por dois tipos de células: de parênquima e traqueóides radiais marginais com abundante idênturas. Frequência de 2 a 9 raios por mm, média de 5,2 raios, com 40 a 570 μm de altura, média de 174,7 μm e com 1 a 28 células (de altura), média de 9,0 células. Pontoações no campo de cruzamento do tipo pinóide.

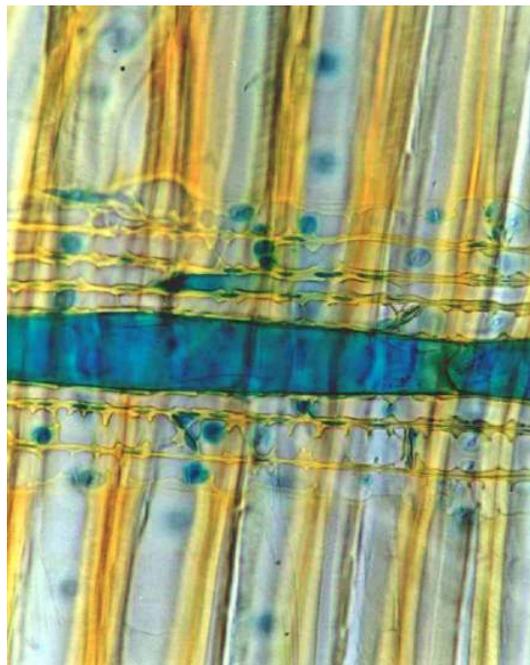
Canais resiníferos: Axiais e radiais, de origem esquizógena, com maior concentração no lenho tardio. Espessura da parede celular das células epiteliais é fina, com parênquima axial associado.

As Figuras 26 e 27, apresentam fotomicrografias de cortes histológicos de secções transversal, radial, e tangencial do tecido de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*.

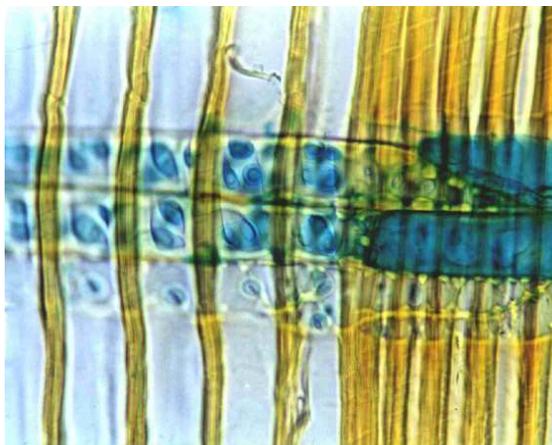
A



B



C



D

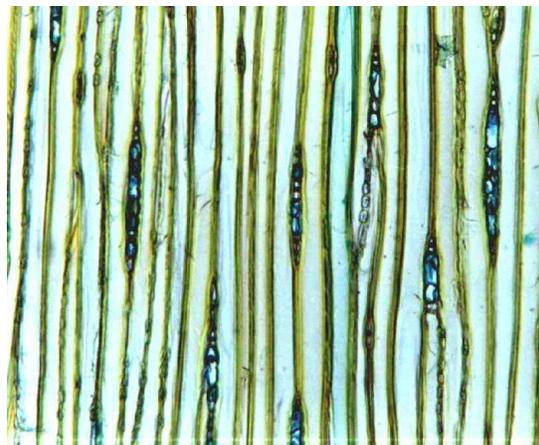


FIGURA 26 - FOTOMICROGRAFIAS DE CORTES HISTOLÓGICOS DE *Pinus maximinoi* H.E.Moore. A. SECÇÃO TRANSVERSAL, B. SECÇÃO RADIAL, DETALHE MOSTRANDO OS TRAQUEÓIDES RADIAIS COM IDENTURAS C. SECÇÃO RADIAL, DETALHE CAMPOS DE CRUZAMENTO COM PONTOAÇÕES TIPO PINÓIDE. D. SECÇÃO TANGENCIAL.

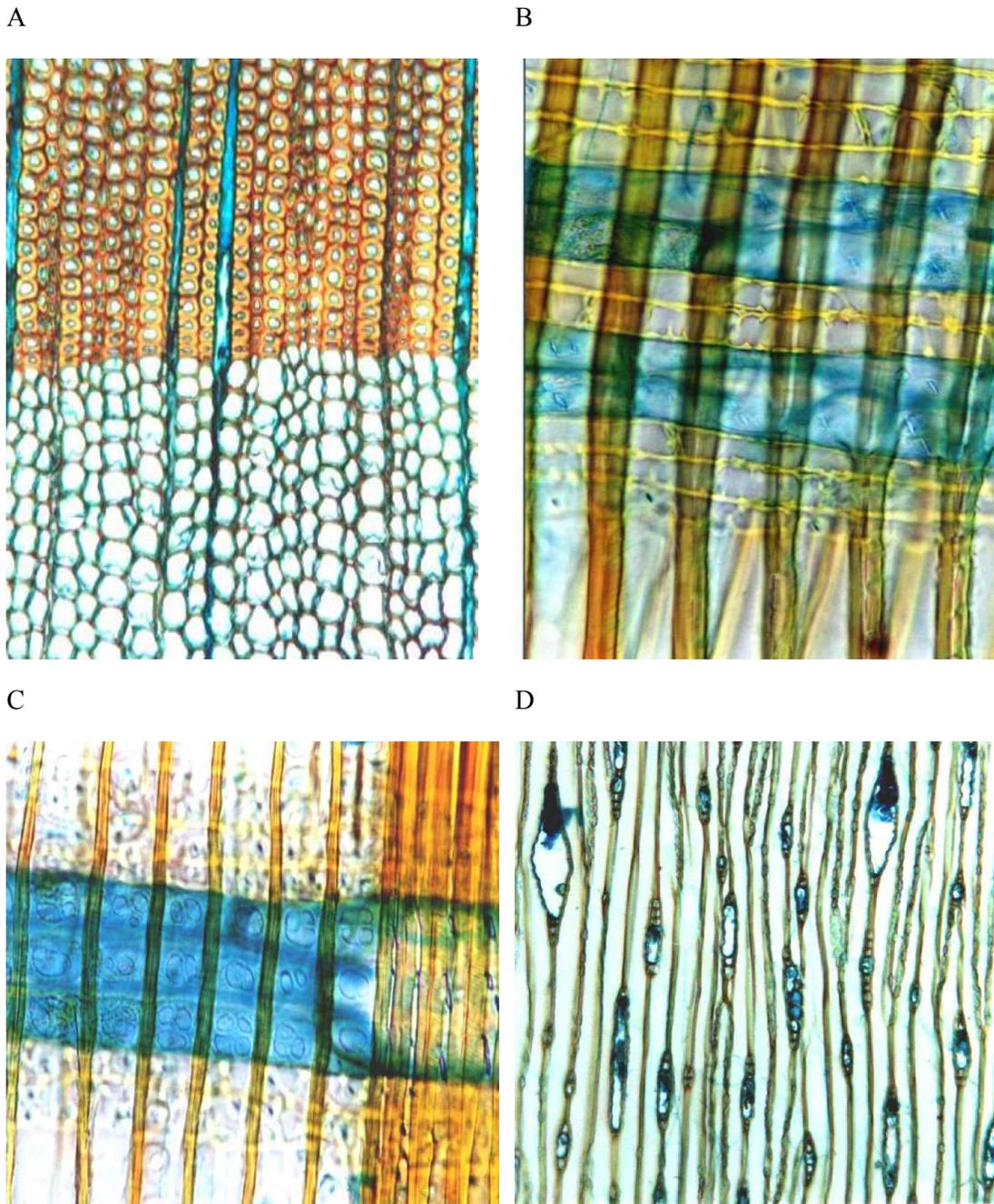


FIGURA 27 - FOTOMICROGRAFIAS DE CORTES HISTOLÓGICOS DE *Pinus taeda* L.
A. SECÇÃO TRANSVERSAL, B. SECÇÃO RADIAL, DETALHE MOSTRANDO OS TRAQUEÓIDES RADIAIS COM IDENTURAS
C. SECÇÃO RADIAL, DETALHE CAMPOS DE CRUZAMENTO COM PONTOAÇÕES TIPO PINÓIDE. D. SECÇÃO TANGENCIAL.

6.1.2 Análise dos resultados observados nos cortes microscópicos

As características microscópicas da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda* apresentam-se de forma semelhante às descrições destas espécies e dentro do gênero *Pinus* (CENTRO TÉCNICO DE EVALUACIÓN FORESTAL, 1972 e MUÑIZ, 1993).

Observa-se na descrição, que os anéis anuais de crescimento de *Pinus maximinoi* apresentam transição mais gradual do lenho inicial para o tardio, e muitos apresentam-se indistintos, ao contrário do observado para *Pinus taeda*, onde sempre apresentam-se distintos e na maioria das observações com transição brusca entre os tipos de lenho.

Os traqueóides axiais de *Pinus maximinoi* na seção transversal do lenho tardio, apresentam aspecto poligonal a retangular, enquanto que os de *Pinus taeda* apenas retangular.

Observa-se também que, o comprimento, os diâmetros externo e do lume dos traqueóides axiais de *Pinus maximinoi*, apresentam valores médios superiores, o mesmo ocorrendo na faixa de valores mínimo e máximo observados. Já para a espessura da parede celular, observa-se que em média, as paredes celulares dos traqueóides de lenho inicial de *Pinus maximinoi* são 1,0 μm mais espessas, e as de lenho tardio 0,5 μm menos espessas que as paredes celulares dos traqueóides de *Pinus taeda*.

Ao se observar as características dos raios, nota-se a semelhança existente entre as duas espécies, o que é esperado por serem do mesmo gênero. Entretanto, observa-se que a frequência média dos raios por milímetro, é inferior em 1,6 raios para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, e na altura média é 4 μm inferior, sendo a amplitude da distribuição dos valores mínimo e máximo observados também inferior. A mesma tendência é observada no número médio de células por altura, constatando-se desta forma que a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresenta menor frequência de raios por milímetro, sendo estes em média mais baixos que os de *Pinus taeda*.

A Tabela 14 apresenta os resultados médios observados para as características dos raios da madeira juvenil em frequência e altura para *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, em três posições: interna, média e externa, no sentido medula-casca.

TABELA 14 - VARIAÇÃO DA ALTURA E FREQUÊNCIA MÉDIA DOS RAIOS NA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* NAS POSIÇÕES INTERNA, MÉDIA E EXTERNA EM RELAÇÃO A DIREÇÃO MEDULA-CASCA, NA ALTURA DO DAP (1,30m), DADOS OBTIDOS EM 2000.

<i>Pinus maximinoi</i>									
Posição	Altura (µm)	Desvio Padrão	C.V. ¹ (%)	Altura (nº células)	Desvio Padrão	C.V. (%)	Frequência/mm	Desvio Padrão	C.V. ¹ (%)
Interna	175,9	88,8	50,5	8,6	3,99	46,4	3,9	1,221	31,3
Média	172,3	86,2	50,0	8,7	4,24	48,7	3,6	1,108	30,8
Externa	163,9	83,7	51,1	8,3	4,03	48,6	3,4	1,138	33,5
Média	170,7	86,2		8,5	4,10		3,6	1,20	
<i>Pinus taeda</i>									
Interna	173,1	84,8	49,0	8,7	4,29	49,3	5,2	1,350	26,0
Média	170,3	95,8	56,3	9,0	4,78	53,1	5,2	1,262	24,3
Externa	180,8	103,1	57,0	9,3	5,27	56,7	5,1	1,322	25,9
Média	174,7	94,78		9,0	4,80		5,2	1,31	

¹C.V. = coeficiente de variação.

As Figuras 28 e 29, ilustram graficamente os resultados médios determinados. Observa-se claramente, a tendência de diminuição dos valores médios para as características dos raios de *Pinus maximinoi*, altura em micrometros e altura em número de células, embora as diferenças sejam estatisticamente não significativas; já a diminuição observada na frequência média dos raios por milímetro, no sentido medula-casca, apresenta diferença estatística muito significativa, como pode ser observado na Tabela 15, que apresenta o resumo da análise de variância dessas características para *Pinus maximinoi*.

Já para *Pinus taeda*, como pode ser observado na Tabela 16, os valores médios observados nas três posições no sentido medula-casca, não apresentam diferença estatística significativa entre si.

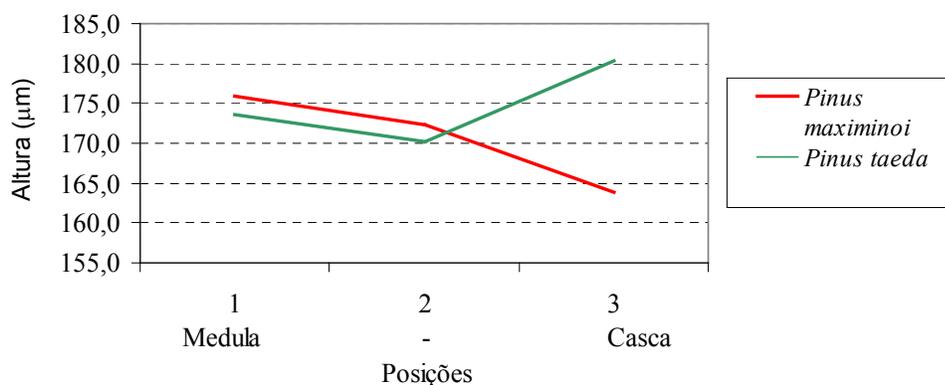


FIGURA 28 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA ALTURA MÉDIA DOS RAIOS EM MICROMETROS, NAS POSIÇÕES 1 (INTERNA), 2 (MÉDIA) E 3 (EXTERNA) EM RELAÇÃO A DIREÇÃO MEDULA-CASCA, A ALTURA DO DAP (1,30m), NA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

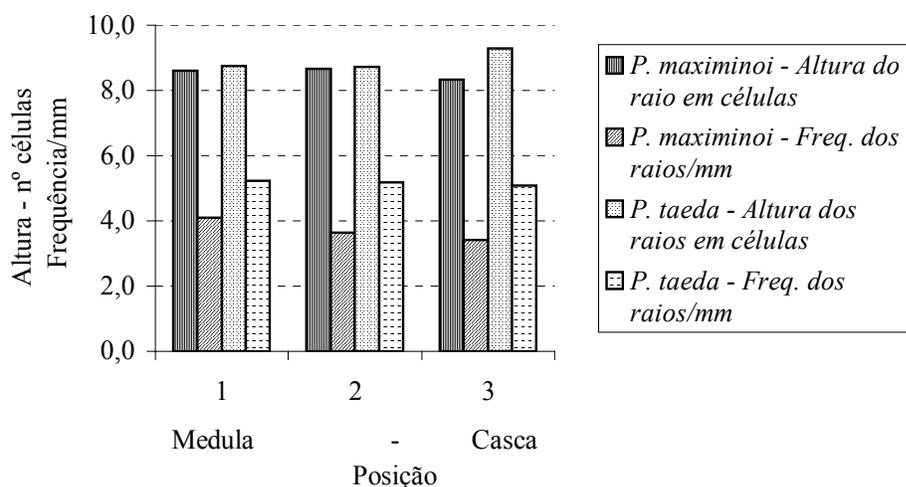


FIGURA 29 - COMPARAÇÃO GRÁFICA DOS DADOS MÉDIOS DOS RAIOS NA MADEIRA JUVENIL A ALTURA DO DAP (1,30m) DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. ALTURA DOS RAIOS EM NÚMERO DE CÉLULAS E FREQUÊNCIA MÉDIA DOS RAIOS POR mm NAS POSIÇÕES 1 (INTERNA), 2 (MÉDIA) E 3 (EXTERNA) EM RELAÇÃO A DIREÇÃO MEDULA-CASCA

TABELA 15 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS DADOS MÉDIOS DOS RAIOS DA MADEIRA JUVENIL, A ALTURA DO DAP (1,30m) NAS POSIÇÕES INTERNA, MÉDIA E EXTERNA (SENTIDO MEDULA-CASCA) DE *Pinus maximinoi*.

Raios	Quadrado médio Espécie	Quadrado médio Erro	F (2,537)	
Altura □m	6881,117	7438,047	0,925124	n.s.
Altura nº células	5,217	16,737	0,311678	n.s.
Frequência/mm	9,117	1,338	6,815132	**

$F_{05}(2,537) = 3,01$

$F_{01}(2,537) = 4,64$

n.s. = não significativo

** significativo 99% de probabilidade

TABELA 16 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS DADOS MÉDIOS DOS RAIOS DA MADEIRA JUVENIL, A ALTURA DO DAP (1,30m) NAS POSIÇÕES INTERNA, MÉDIA E EXTERNA (SENTIDO MEDULA-CASCA) DE *Pinus taeda*.

Raios	Quadrado médio Espécie	Quadrado médio Erro	F (2,537)	
Altura □m	4859,074	8998,409	0,539993	n.s.
Altura nº células	13,072	23,056	0,566988	n.s.
Frequência/mm	1,096	1,721	0,637057	n.s.

$F_{05}(2,537) = 3,01$

$F_{01}(2,537) = 4,64$

n.s. = não significativo

** significativo 99% de probabilidade

As características dos raios quando analisadas separadamente por posição (direção medula-casca) entre as duas espécies, cujo resumo da análise de variância é apresentado na Tabela 17, observa-se que a altura dos raios em micrometros e por número de células nas três posições não são significativas; enquanto que a frequência por milímetro, se mostrou estatisticamente significativa.

TABELA 17 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS DADOS OBTIDOS NOS RAIOS DA MADEIRA JUVENIL, A ALTURA DO DAP (1,30m) DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. ALTURA DOS RAIOS EM MICROMETROS, EM NÚMERO DE CÉLULAS E FREQUÊNCIA MÉDIA POR MILÍMETRO, NAS POSIÇÕES 1 (INTERNA), 2 (MÉDIA) E 3 (EXTERNA) EM RELAÇÃO A DIREÇÃO MEDULA-CASCA.

POSIÇÃO	Raios	Quadrado	Quadrado	F	
		médio	médio	(1,357)	
		Espécie	Erro		
1 Interna	Altura μm	681,12	7547,111	0,0902	n.s.
	Altura nº células	1,19	17,174	0,0693	n.s.
	Frequência/mm	165,22	1,652	99,9952	**
2 Média	Altura μm	358,33	8321,568	0,0431	n.s.
	Altura nº células	10,65	20,484	0,5198	n.s.
	Frequência/mm	212,81	1,410	150,9095	**
3 Externa	Altura μm	25900,91	8828,334	2,9338	n.s.
	Altura nº células	82,23	22,139	3,7143	n.s.
	Frequência/mm	249,44	1,522	163,8496	**

$F_{05}(1,357) = 3,87$

$F_{01}(1,357) = 6,71$

n.s. = não significativo

** significativo 99% de probabilidade

TABELA 18 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS DADOS MÉDIOS OBTIDOS NOS RAIOS DA MADEIRA JUVENIL, À ALTURA DO DAP (1,30m) DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. ALTURA DOS RAIOS EM MICROMETROS, EM NÚMERO DE CÉLULAS E FREQUÊNCIA MÉDIA POR MILÍMETRO.

Raios	Quadrado	Quadrado	F	
	médio	médio	(1,1074)	
	Espécie	Erro		
Altura μm	4432,726	8218,229	0,5394	n.s.
Altura nº células	60,208	19,896	3,0261	n.s.
Frequência/mm	624,112	1,529	408,1048	**

$F_{05}(1,1074) = 3,85$

$F_{01}(1,1074) = 6,66$

n.s. = não significativo

** = significativo 99% de probabilidade

Estas observações se repetem quando analisados os resultados médios totais na madeira das duas espécies (Tabela 18), desta forma constata-se que a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresenta menor frequência de raios por milímetro em toda a extensão medula-casca, do que a madeira de *Pinus taeda*. Rejeita-se neste aspecto a hipótese H_0 , de igualdade entre as duas espécies, enquanto que para a altura dos raios em micrometros e em número de células, aceita-se a hipótese H_0 , considerando-se não haver diferenças entre a madeira juvenil das duas espécies na altura dos raios.

Analisando-se a Tabela 14, constata-se também, que ambas as espécies apresentam alta variação nas características dos raios, sendo estas em torno de 50 % para a altura e 30% na frequência por milímetro, o que é de certa forma esperado para estas características anatômicas, especialmente na madeira juvenil.

De uma forma geral, a descrição das características microscópicas da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, apresenta-se em conformidade com a apresentada pelo CENTRO TÉCNICO DE EVALUACIÓN FORESTAL (1972), contudo algumas dimensões como o comprimento médio dos traqueóides axiais (5,2 μm) e o diâmetro médio do lume de 29 μm , são superiores aos observados para a madeira juvenil nesse estudo, o que ocorre provavelmente pela maior idade das árvores de *Pinus maximinoi* (ex *Pinus tenuifolia*) amostradas naquele trabalho, que foram entre 28 e 34 anos. Portanto com considerável presença de madeira adulta, o que explica a diferença, em função de se esperar incremento das dimensões dos traqueóides com o aumento da idade e proporção de madeira adulta (COWN, 1980 e BENDTSEN & SENFT, 1986), além do fato de o material ter sido coletado em sítios de crescimento natural. Ainda assim, os resultados encontrados nesse estudo para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* situam-se dentro da faixa de variação dos valores apresentados naquele trabalho.

Já para *Pinus taeda*, a descrição realizada nesse estudo assemelha-se à descrição da madeira desta espécie, apresentada por MUÑIZ (1993), embora a autora tenha trabalhado com árvores de 30 anos, o que também elevou os valores médios apresentados para o comprimento dos traqueóides. Ainda assim os resultados observados neste estudo encontram-se dentro das faixas de variação para a espécie.

6.1.3 Características morfológicas dos traqueóides axiais na madeira juvenil.

Os valores médios das características morfológicas dos traqueóides axiais de lenho inicial e de lenho tardio da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, mensurados em amostras de discos coletados à altura do peito (1,30m), com os respectivos desvios padrões e coeficientes de variação determinados, são apresentados na Tabela 19.

Observa-se que os valores médios das mensurações das dimensões dos traqueóides axiais são nominalmente superiores para *Pinus maximinoi*, com exceção da espessura média da parede celular dos traqueóides de lenho tardio, que são em média 0,5 μm menos espessos. Através da análise estatística, constata-se que as diferenças são significativas para o comprimento médio, superiores em 0,29 mm, diâmetro externo em 3,9 μm e no diâmetro interno em 4,9 μm nos traqueóides axiais do lenho tardio; sendo também significativa a diferença entre a espessura da parede celular dos traqueóides de lenho inicial, que são em média 1,0 μm mais espessos na madeira de *Pinus maximinoi*.

TABELA 19 - VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. DE TODOS OS ANÉIS MENSURADOS.

Característica do traqueóide ¹	Tipo Lenho	<i>Pinus maximinoi</i>	Desvio padrão	C.V. ² (%)	<i>Pinus taeda</i>	Desvio padrão	C.V. ² (%)
Comprimento (mm)	Inicial	3,17	0,6598	20,8	2,93	0,5384	18,5
Comprimento (mm)	Tardio	3,27	0,6465	19,8	2,98	0,5246	17,6
Diâmetro Externo(μm)	Inicial	44,7	4,458	9,97	42,4	5,513	13,0
Diâmetro Externo(μm)	Tardio	42,5	4,425	10,4	38,6	3,685	9,54
Diâmetro Interno(μm)	Inicial	33,4	4,400	13,2	33,0	7,776	23,6
Diâmetro Interno(μm)	Tardio	27,3	4,997	18,3	22,4	4,589	20,5
Espessura da Parede(μm)	Inicial	5,7	1,624	28,5	4,7	1,499	31,9
Espessura da Parede(μm)	Tardio	7,6	1,665	21,9	8,1	1,852	22,9

¹Número de traqueóides mensurados por espécie e tipo de lenho N = 1800.

²C.V. = coeficiente de variação.

A Tabela 20 apresenta o resumo da análise de variância para os valores das características morfológicas dos traqueóides axiais do lenho juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*.

As diferenças entre os valores médios mensurados para o comprimento dos traqueóides de lenho inicial, de 0,24 mm, e do diâmetro externo também do lenho inicial de 2,5 µm, são significativas, enquanto que para o diâmetro interno do lenho inicial e espessura da parede celular dos traqueóides de lenho tardio não se detectou diferença significativa (Tabela 20).

TABELA 20 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*

Característica	Tipo Lenho	Quadrado médio	Quadrado médio	F (1,118)	
		Espécie	Erro		
Comprimento	Inicial	1731278	362595,1	4,77469	*
Comprimento	Tardio	2544624	346579,6	7,34210	**
Diâmetro. Externo	Inicial	151	25,1	6,01885	*
Diâmetro. Externo	Tardio	471	16,6	28,3931	**
Diâmetro. Interno	Inicial	4	39,9	0,11272	n.s
Diâmetro. Interno	Tardio	737	23,0	32,0331	**
Espessura. da Parede	Inicial	26	3,0	8,53872	**
Espessura. da Parede	Tardio	7	2,5	2,96656	n.s

$F_{05}(1,118) = 3,93$

$F_{01}(1,118) = 6,85$

n.s. = não significativo,

* = significativo a 95% de probabilidade, ** = significativo 99% de probabilidade

As características morfológicas médias por anel, dos traqueóides mensurados à altura do peito (1,30 m), no segundo, quarto, sexto e oitavo anéis anuais de crescimento, tanto para o lenho inicial como para o tardio, da madeira juvenil das duas espécies estudadas, são apresentados na Tabela 21, juntamente com os resultados da comparação das médias das características entre os anéis por tipo de lenho e por espécie, pelo teste de comparação de médias de Tukey, a 95% de probabilidade, a igualdade estatística representada por letras, sendo que as médias acompanhadas da mesma letra são estatisticamente semelhantes entre si.

A Figura 30 ilustra graficamente a evolução no comprimento médio dos traqueóides axiais dos lenhos inicial e tardio da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda* nos anéis anuais de crescimento amostrados.

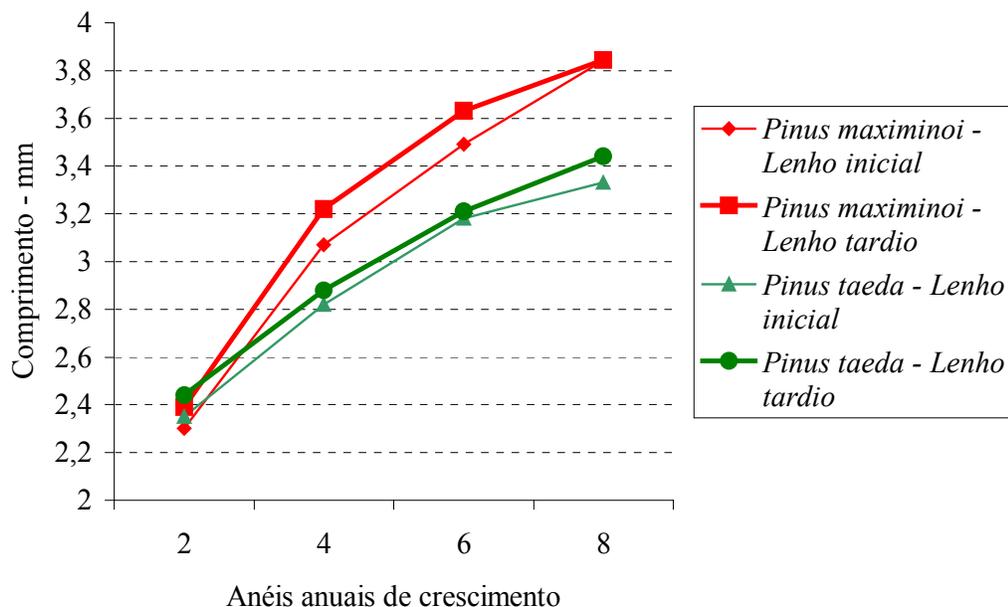


FIGURA 30 - EVOLUÇÃO NO COMPRIMENTO MÉDIO DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* DO SEGUNDO AO OITAVO ANEL ANUAL DE CRESCIMENTO À ALTURA DO DAP (1,30m).

Como pode ser observado na Tabela 21 e Figura 30, os comprimentos médios dos traqueóides axiais, tanto de lenho inicial como de lenho tardio, para ambas as espécies, aumentam do segundo ao oitavo anel, o que é esperado segundo SÂNIO (1872), e comprovado por muitos pesquisadores. O incremento no comprimento é mais acentuado para *Pinus maximinoi*, sendo de 1,54 mm ou de 67% no lenho inicial, e de 1,45mm ou 64% no lenho tardio, sendo que entre o segundo e o quarto anel ocorre cerca de 50% do incremento.

Os traqueóides de *Pinus taeda* por sua vez, apresentam a mesma tendência, porém constata-se um aumento médio menos acentuado, para o lenho inicial de 0,98 mm ou 42%, e para o lenho tardio de 1,0 mm ou 41%, ocorrendo também o maior incremento entre o segundo e quarto anel.

TABELA 21 - VALORES MÉDIOS MENSURADOS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO NA MADEIRA JUVENIL, A ALTURA DO DAP, NO SEGUNDO, QUARTO, SEXTO E OITAVO ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*, DADOS OBTIDOS EM 2000¹.

<i>Pinus maximinoi</i>					
Característica	Tipo de Lenho	Anéis de crescimento			
		2	4	6	8
Comprimento (mm)	Inicial	2,30 a	3,07 b	3,49 c	3,84 c
Comprimento (mm)	Tardio	2,39 a	3,22 b	3,63 c	3,84 c
Diâmetro. Externo(μm)	Inicial	41,9 a	45,7 ab	45,8 b	45,3 ab
Diâmetro. Externo(μm)	Tardio	41,3 a	43,0 a	43,1 a	42,8 a
Diâmetro. Interno(μm)	Inicial	32,4 a	34,1 a	33,9 a	33,0 a
Diâmetro. Interno(μm)	Tardio	28,4 a	28,3 a	26,7 a	25,9 a
Espessura. da Parede(μm)	Inicial	4,74 a	5,79 a	5,92 a	6,15 a
Espessura. da Parede(μm)	Tardio	6,46 a	7,32 ab	8,23 b	8,42 b
<i>Pinus taeda</i>					
Comprimento (mm)	Inicial	2,35 a	2,82 b	3,18 b c	3,33 c
Comprimento (mm)	Tardio	2,44 a	2,88 a	3,21 b	3,44 b
Diâmetro Externo(μm)	Inicial	40,7 a	42,8 a	42,3 a	43,9 a
Diâmetro Externo(μm)	Tardio	37,6 a	37,8 a	39,1 a	39,9 a
Diâmetro Interno(μm)	Inicial	33,0 a	34,2 a	31,1 a	33,6 a
Diâmetro Interno(μm)	Tardio	24,4 a	21,9 a	20,7 a	22,4 a
Espessura da Parede(μm)	Inicial	3,89 a	4,27 ab	5,59 b	5,15 ab
Espessura da Parede(μm)	Tardio	6,61 a	7,92 ab	9,17 b	8,73 b

¹ As médias das características entre os anéis anuais de crescimento, acompanhadas da mesma letra são estatisticamente iguais entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey

A característica de aumento no comprimento dos traqueóides axiais é típica do lenho juvenil de espécies do gênero *Pinus*, segundo ZOBEL et al. (1959) e ZOBEL (1976). Esta tendência concorda com o padrão estabelecido por SÂNIO (1872), em seu experimento clássico, e confirmado por muitos pesquisadores (DADSWELL, 1957; BURLEY, 1969; NICHOLLS, 1971; BENDTSEN e SENFT, 1986; KLOCK, 1989 e MUÑIZ, 1993), entre outros). Todos demonstram em seus trabalhos, que em espécies do gênero *Pinus*, ocorre incremento rápido no comprimento dos traqueóides axiais até o 10º ou 15º anel, diminuindo gradativamente nos anéis subseqüentes. Valores médios encontrados na literatura mostram incrementos no comprimento que variam de 1,2 - 2,5 mm a 3,5 - 4,2 mm, do primeiro ao décimo anel anual de crescimento (BISSET & WARDROP, 1951; COWN, 1975; KLOCK, 1989 e MUÑIZ, 1993).

Os traqueóides axiais do lenho tardio das duas espécies apresentam comprimento médio ligeiramente superior aos de lenho inicial, aplicado o teste "t" de *Student*, para verificar a hipótese de igualdade entre os comprimentos, obteve-se diferença estatística significativa entre a média dos comprimentos dos traqueóides de lenho inicial e tardio de *Pinus maximinoi*, e não significativa para *Pinus taeda*. A tendência dos traqueóides axiais serem mais longos no lenho tardio foi observada por COWN (1975), em *Pinus radiata* e por KLOCK (1989), em *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*.

As Figuras 31 a 33 , ilustram os resultados médios por anel anual de crescimento dos diâmetros externo e interno e da espessura da parede celular entre as duas espécies estudadas.

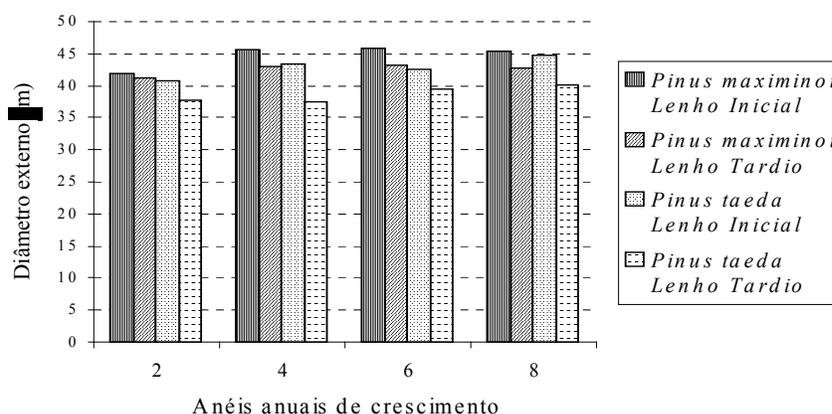


FIGURA 31 - DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* NO SEGUNDO, QUARTO, SEXTO E OITAVO ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO.

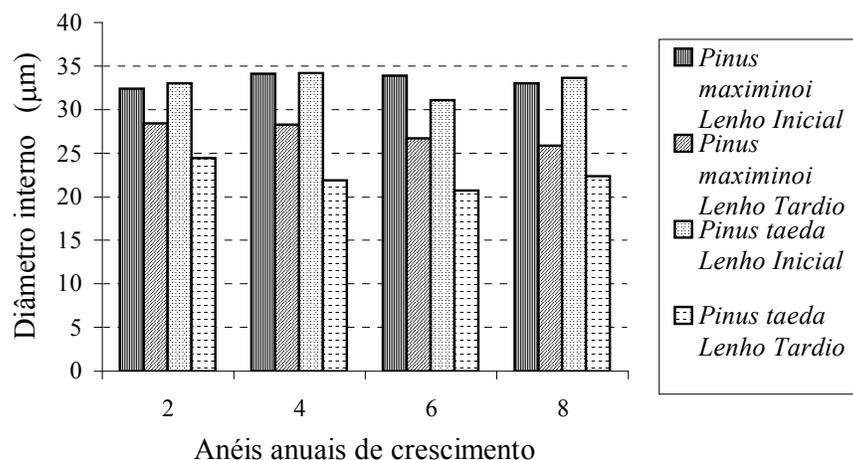


FIGURA 32 - DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* NO SEGUNDO, QUARTO, SEXTO E OITAVO ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO.

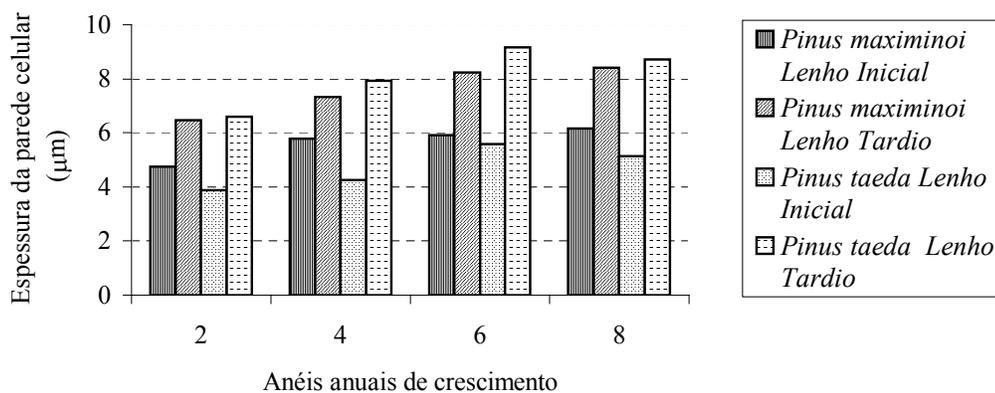


FIGURA 33 - ESPESSURA DAS PAREDES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* NO SEGUNDO, QUARTO, SEXTO E OITAVO ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO.

Observa-se que, as análises de variância para os valores de comprimento dos traqueóides axiais nos anéis anuais de crescimento para *Pinus maximinoi*, para *Pinus taeda* e

entre as duas espécies mostram diferenças estatísticas significativas entre os valores médios, (Tabelas 22 e 23).

TABELA 22 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO, A ALTURA DO DAP, NO SEGUNDO, QUARTO, SEXTO E OITAVO ANEL ANUAL DE CRESCIMENTO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

<i>Pinus maximinoi</i>					
Característica testada	Tipo de Lenho	Quadrado médio anel	Quadrado médio Erro	F (3,56)	
Comprimento (mm)	Inicial	6607990	104661,1	63,13701	**
Comprimento (mm)	Tardio	6190544	108684,6	56,95877	**
Diâmetro Externo(μm)	Inicial	52,0	18,1	2,86610	*
Diâmetro Externo(μm)	Tardio	10,	20,1	0,51390	n.s.
Diâmetro Interno(μm)	Inicial	9,0	19,9	0,47087	n.s.
Diâmetro Interno(μm)	Tardio	23,0	25,1	0,90836	n.s.
Espessura da Parede(μm)	Inicial	6,0	2,5	2,37312	n.s.
Espessura da Parede(μm)	Tardio	12,0	2,3	5,41541	**

<i>Pinus taeda</i>					
Característica testada	Tipo de Lenho	Quadrado médio anel	Quadrado médio Erro	F (3,56)	
Comprimento (mm)	Inicial	2829728	153786,5	18,40036	**
Comprimento (mm)	Tardio	2915511	133783,8	21,79270	**
Diâmetro Externo(μm)	Inicial	26,0	30,6	0,84565	n.s.
Diâmetro Externo(μm)	Tardio	18,	13,3	1,34189	n.s.
Diâmetro Interno(μm)	Inicial	27,0	62,2	0,44106	n.s.
Diâmetro Interno(μm)	Tardio	35,0	20,3	1,70838	n.s.
Espessura da Parede(μm)	Inicial	9,0	3,1	2,96084	*
Espessura da Parede(μm)	Tardio	19,0	1,4	14,01458	**

$F_{05}(3,56) = 2,78$

$F_{01}(3,56) = 4,15$

n.s. = não significativo, * = significativo a 95% de probabilidade,

** = significativo 99% de probabilidade

TABELA 23 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE OS VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO, A ALTURA DO DAP, NO SEGUNDO, QUARTO, SEXTO E OITAVO ANEL ANUAL DE CRESCIMENTO DA MADEIRA JUVENIL *Pinus maximinoi* e DE *Pinus taeda* .

Característica testada	Tipo de Lenho	Quadrado médio Espécie	Quadrado médio Erro	F (1,112)	
Comprimento	Inicial	1731278	129223,8	13,39751	**
Comprimento	Tardio	2544624	121234,2	20,98932	**
Diâmetro Externo	Inicial	151	24,4	6,20164	*
Diâmetro Externo	Tardio	471	16,7	28,16863	**
Diâmetro Interno	Inicial	4,0	41,1	0,10956	n.s.
Diâmetro Interno	Tardio	737	22,7	32,46706	**
Espessura da Parede	Inicial	26,0	2,8	9,27746	**
Espessura da Parede	Tardio	7,0	1,8	4,11778	*

$F_{05}(1,112) = 3,93$ $F_{01}(1,112) = 6,86$

n.s. = não significativo,

* = significativo a 95% de probabilidade,

** = significativo 99% de probabilidade

Nos diâmetros externos dos traqueóides axiais nos anéis anuais de crescimento de *Pinus maximinoi*, (Figura 31), observa-se diferença estatística significativa para os valores médios de lenho inicial, ocorrendo incremento em diâmetro entre o segundo e o quarto anel, mantendo-se semelhante nos anéis subseqüentes. No lenho tardio, numericamente observa-se ligeiro aumento no diâmetro, porém não significativo estatisticamente. Já para *Pinus taeda*, os valores médios dos diâmetros externos dos traqueóides axiais nos anéis de crescimento analisados, não apresentam diferenças estatísticas entre si, embora nominalmente nota-se um pequeno incremento, principalmente entre o segundo e o quarto anel.

Comparando-se os diâmetros externos médios nos anéis de crescimento para as duas espécies, nota-se que os de *Pinus maximinoi* apresentam valores superiores, sendo esta diferença significativa para o lenho inicial e para o lenho tardio (Tabela 23).

Os diâmetros internos dos traqueóides axiais nos anéis anuais de crescimento quando analisados por tipo de lenho e dentro das espécies, não apresentam diferenças significativas entre suas médias, como pode ser visto na Figura 32, e Tabelas 22 e 23. Já ao se comparar as

espécies, observa-se que os diâmetros internos de lenho inicial não apresentam diferença significativa, enquanto que para o lenho tardio a diferença é estatisticamente significativa, Tabela 23.

As espessuras médias das paredes celulares dos traqueóides axiais de lenho inicial e tardio das duas espécies são ilustradas na Figura 33, onde se pode visualizar as diferenças entre os tipos de lenho (inicial - tardio), anéis anuais de crescimento e espécies. Pode-se observar tendência de aumento na espessura, embora esta não seja significativa para os traqueóides de lenho inicial de *Pinus maximinoi*. No lenho tardio, a diferença em espessura é significativa, e o incremento entre o segundo e o oitavo anel é de 1,98 μm . Nos anéis anuais de crescimento de *Pinus taeda*, observa-se que o incremento em espessura é significativo para o lenho inicial (1,7 μm), como para o lenho tardio (2,56 μm).

Entre as duas espécies entretanto, observa-se diferença estatística significativa para o lenho inicial e para o lenho tardio, este a 95% de probabilidade.

Os valores médios dos diâmetros externos e internos, e também da espessura da parede celular dos traqueóides de lenho inicial e tardio entre si, para as duas espécies apresentam diferenças estatísticas, verificadas pelo teste "t" de *Student*, sendo os diâmetros externos e internos superiores no lenho inicial, enquanto que a parede celular é mais espessa no lenho tardio, como é esperado segundo observações de vários pesquisadores como, DADSWELL (1957); BURLEY (1969); NICHOLLS (1971) e BENDTSEN e SENFT (1986).

Em geral, estas tendências se fazem notar para a madeiras de coníferas, segundo COWN (1975) e BAMBER & BURLEY (1983).

Dos resultados apresentados, pode-se observar que em média os traqueóides axiais de *Pinus maximinoi* são mais longos, de maior diâmetro externo, maior diâmetro do lume nos traqueóides de lenho tardio, com a parede celular no lenho inicial mais espessa, e no lenho tardio menos espessa.

Quando os resultados médios obtidos para as características morfológicas dos traqueóides axiais nesse estudo são comparados aos apresentados na literatura, para espécies do gênero *Pinus*, observa-se que os comprimentos médios para as duas espécies são menores especialmente em relação ao comprimento dos traqueóides. Por exemplo, para *Pinus maximinoi*, o estudo do CENTRO TÉCNICO DE EVALUACIÓN FORESTAL (1972), apresenta comprimento médio dos traqueóides de 5,2 mm, contudo as árvores estudadas tinham entre 28 a 34 anos de idade, o que certamente contribuiu para a elevação do

comprimento médio. Da mesma forma, as diferenças em relação aos diâmetros externos médios apresentados de 44 μm para lenho tardio, de 60 μm para lenho inicial, e diâmetros internos médios de 29 μm para lenho tardio, de 46 μm para lenho inicial, que diferem dos obtidos nesse estudo, provavelmente também ocorrem em função da maior idade das árvores, e da procedência destas.

Segundo a pesquisa de BOONE & CHUDNOFF (1972), o comprimento dos traqueóides é cerca de 52,2% inferior na madeira juvenil de espécies tropicais de *Pinus*, e para *Pinus taeda*, segundo ZOBEL & BLAIR (1976), o comprimento médio é menor em cerca de 30,37%, enquanto que a espessura da parede chega a 51,74%.

WRIGHT & MALAN (1991), em estudo realizado com três espécies do gênero *Pinus*, entre as quais *Pinus maximinoi*, com 10 árvores de dez anos de idade, plantadas na África do Sul, obtiveram média de 7,16 μm para a espessura dupla da parede celular, diâmetro radial médio do lume de 31 μm , e diâmetro tangencial de 28 μm nos traqueóides de *Pinus maximinoi*. As medições foram realizadas em faixas radiais de amostras à altura de 1,40 m do solo, (DAP), nos anéis anuais de crescimento 1, 4 e 7, foram verificadas diferenças estatísticas muito significativas entre os anéis de crescimento para *Pinus maximinoi*, bem como diferenças estatísticas entre as espécies estudadas, *Pinus patula* e *Pinus pseudostrobus*. Observadas as diferenças na obtenção dos dados com a metodologia adotada nesse estudo, verifica-se similaridade nos diâmetros do lume, se considerarmos a média entre os diâmetros de lenho inicial e tardio observados nesse trabalho, que é de 30,5 μm ; já para a espessura da parede celular dos traqueóides, verifica-se que o resultado médio entre lenho inicial e lenho tardio obtido nesse trabalho são superiores, comparado aos obtidos para das árvores de *Pinus maximinoi* plantadas na África do Sul.

Já os valores médios obtidos nesse estudo para as características morfológicas dos traqueóides axiais de *Pinus taeda* assemelham-se, na média, aos apresentados por MORESCHI (1975); TOMASELLI (1979) e MENDONÇA (1982), para árvores de idade semelhante. No entanto, quando comparado aos resultados apresentados por MUÑIZ (1993), os resultados médios desse estudo são inferiores, o que deve estar relacionado ao fato das árvores analisadas pela autora serem de maior idade, no caso foram estudadas árvores de *Pinus taeda* de 30 anos.

Ressalta-se que, embora os resultados nesse estudo diferenciem lenho inicial e tardio, a média entre os dois tipos de lenho aproximam-se dos apresentados por MUÑIZ (1993),

referente as características morfológicas médias dos traqueóides para o lenho juvenil, que foram: de 3,42 mm em comprimento; 45,2 μm de diâmetro externo; 31,7 μm de diâmetro interno e 6,63 μm de espessura da parede celular, neste caso não sendo distinguidos os tipos de lenho.

Ao se comparar os resultados médios das dimensões dos traqueóides de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, com os apresentados por FOELKEL (1976), para espécies de coníferas: *Araucaria angustifolia* de idade indeterminada; *Pinus elliottii* com 8 anos; *Pinus taeda* com 11 anos; *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 8 anos; todas plantadas no Brasil, e ainda com *Pinus elliottii* de 18 anos e *Pinus taeda* de 16 anos, essas plantadas nos Estados Unidos; verifica-se que, para o comprimento médio dos traqueóides, com exceção da *Araucaria angustifolia* (5,15 mm), os resultados assemelham-se, embora as médias apresentadas para *Pinus taeda* nas duas idades (2,78 e 2,87 mm respectivamente) tenham sido ligeiramente inferiores aos desse estudo, e os de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus elliottii* de 18 anos (3,64 mm e 3,46 mm respectivamente) sejam pouco superiores aos obtidos neste estudo para *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*. As dimensões relativas aos diâmetros e espessura da parede celular são de comparação difícil em função da diferença na amostragem, já que o autor não distingue os tipos de lenho, mesmo assim, os diâmetros médios obtidos nesse estudo, para as duas espécies, parecem ser ligeiramente inferiores, e as espessuras das paredes celulares superiores aos das espécies estudadas por FOELKEL (1976), onde *Pinus caribaea* var. *caribaea* se destaca por apresentar traqueóides largos (diâmetros médios de 53,8 μm e 43,6 μm , para os lenhos externo e interno, respectivamente).

Comparando-se os resultados médios mensurados nesse estudo para *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, com os apresentados por KLOCK (1989), para *Pinus oocarpa* (18 anos) e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (20 anos), estes com valores médios determinados por tipo de lenho e em anéis de crescimento destacados, verifica-se que a tendência de incremento é semelhante, os comprimentos dos traqueóides axiais de *Pinus maximinoi* até o oitavo anel de crescimento são semelhantes aos de *Pinus oocarpa* (3,86 mm) e ligeiramente inferiores aos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, que atingiram em média pouco mais de 4 mm. Por outro lado, ao se comparar o diâmetro do lume e espessura da parede celular, verifica-se que no lenho inicial *Pinus maximinoi* apresenta traqueóides mais estreitos, e no lenho tardio traqueóides mais largos que os de *Pinus oocarpa* (53 μm e 22 μm) e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (54 μm e 21,5 μm); o mesmo acontecendo para *Pinus taeda*.

6.1.4 Relações entre dimensões dos traqueóides axiais (fibras)

Os resultados médios das relações entre dimensões dos traqueóides axiais (fibras), respectivos desvios padrões e coeficientes de variação, consideradas importantes para a produção de celulose para papel, calculadas para as duas espécies são apresentadas na Tabela 24. A Tabela 25, apresenta o resumo da análise de variância entre as relações calculadas das dimensões dos traqueóides axiais de lenho inicial e tardio da madeira juvenil, a altura do peito (1,30m) entre as espécies estudadas.

Analisando-se os resultados médios das relações médias entre as dimensões dos traqueóides axiais de lenho tardio de *Pinus maximinoi*, que referem-se à flexibilidade das fibras, ou seja, o Coeficiente de Flexibilidade (CFL) e a Relação Comprimento/Espessura da parede celular (C/E), observa-se que diferenças estatísticas significativas ocorrem, sendo superiores às de *Pinus taeda*, o que indica serem os traqueóides de lenho tardio de *Pinus maximinoi* mais flexíveis. Já, as relações que indicam maior rigidez das fibras, em função da maior espessura das paredes celulares, ou seja, a Fração Parede (FP) e Índice de *Runkel* (IR) do lenho tardio, são superiores em *Pinus taeda*, exceção para o Índice de Enfeltramento, que não apresenta diferença significativa.

As relações entre as dimensões dos traqueóides de lenho inicial, por sua vez, não apresentam diferença estatística, com exceção para a relação entre o comprimento do traqueóide e a espessura da parede celular (C/E), o que se poderia esperar, pois a espessura média dos traqueóides de lenho inicial de *Pinus maximinoi*, são estatisticamente mais espessos. Essas observações permitem concluir que, entre as duas espécies, os traqueóides de lenho inicial apresentam qualidade muito próxima para celulose, enquanto que os traqueóides de lenho tardio apresentam características bem mais diferenciadas entre si.

Segundo FOELKEL (1976), a relação entre as dimensões das fibras de madeira e as resistências das celuloses correspondentes tem sido de considerável interesse, sendo dada maior ênfase aos parâmetros expressos como relações entre as dimensões fundamentais dos elementos celulares da madeira, comprimento, diâmetros e espessura da parede celular.

O mesmo autor, afirma que algumas dessas relações podem auxiliar na explicação dos resultados para as resistências das celuloses e também na melhor identificação destas madeiras.

TABELA 24 - RESULTADOS MÉDIOS DAS RELAÇÕES CALCULADAS ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, A ALTURA DO DAP, DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*. DADOS OBTIDOS EM 2000.

Espécie	Lenho Relação	Tardio	Inicial	Tardio	Inicial	Tardio	Inicial	Tardio	Inicial	Tardio	Inicial
		IE ¹	IE ¹	CFL ² (%)	CFL ² (%)	FP ³ (%)	FP ³ (%)	C/E ⁴	C/E ⁴	IR ⁵	IR ⁵
<i>P. maximinoi</i>	Média	77,3	71,1	64,0	74,7	36,0	25,3	442,2	592,7	0,587	0,350
	D. padrão ⁶	15,63	13,64	8,073	6,70	8,073	6,70	94,63	159,3	0,204	0,128
	C.V. ⁷ . (%)	20,2	19,2	12,6	9,0	22,4	26,5	21,4	26,9	34,8	36,6
<i>P. taeda</i>	Média	77,3	69,5	57,7	76,9	42,3	23,1	377,0	711,2	0,769	0,329
	D. padrão ⁶	11,53	11,02	8,318	10,59	8,318	10,59	81,88	278,6	0,258	0,216
	C.V. ⁷ . (%)	14,9	15,9	14,4	13,8	19,7	45,8	21,7	39,2	33,6	65,7

¹IE = Índice de enfeitramento (IE = 1 / D), ²CFL = Coeficiente de flexibilidade (CFI = d / D x 100) (%), ³FP = Fração parede (FP = [e / (D/2)] x 100) (%), ⁴C/E = Relação comprimento do traqueóide e espessura da parede celular (C/E = 1 / e), ⁵IR = Índice de Runkel (IR = 2e / d), ⁶D. padrão = desvio padrão ⁷C.V. = coeficiente de variação

TABELA 25 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS RELAÇÕES CALCULADAS ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, A ALTURA DO DAP, DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

Tipo de Lenho	Relação	Quadrado médio	Quadrado médio	F	
		Espécie	Erro	(1,118)	
Tardio	IE ¹	0,01	188,65	0,00003	n.s
Inicial	IE ¹	78,3	153,79	0,50900	n.s
Tardio	CFL ²	1206,9	67,19	17,96311	**
Inicial	CFL ²	146,5	78,51	1,86601	n.s
Tardio	FP ³	1206,9	67,19	17,96311	**
Inicial	FP ³	146,5	78,51	1,86601	n.s
Tardio	C/E ⁴	127655,1	7830,11	16,30312	**
Inicial	C/E ⁴	421106,0	51492,46	8,17801	**
Tardio	IR ⁵	1,0	0,05	18,51535	**
Inicial	IR ⁵	0,01	0,03	0,41466	n.s

F₀₅ (1,118) = 3,92 F₀₁ (1,118) = 6,85 n.s. = não significativo, * = significativo a 95% de probabilidade, ** = significativo 99% de probabilidade

¹IE = Índice de enfeitramento (IE = 1 / D), ²CFL = Coeficiente de flexibilidade (CFI = d / D x 100) (%), ³FP = Fração parede (FP = [e / (D/2)] x 100) (%), ⁴C/E = Relação comprimento do traqueóide e espessura da parede celular (C/E = 1 / e), ⁵IR = Índice de Runkel (IR = 2e / d).

A Tabela 26, apresenta os resultados médios das relações calculadas entre as dimensões dos traqueóides das espécies estudadas, nos anéis anuais de crescimento e sua comparação pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

TABELA 26 - VALORES MÉDIOS DAS RELAÇÕES CALCULADAS ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS NOS ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO PARA O LENHO TARDIO E INICIAL DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*, DADOS OBTIDOS EM 2000⁶.

<i>Pinus maximinoi</i>										
Lenho	Tardio	Inicial	Tardio	Inicial	Tardio	Inicial	Tardio	Inicial	Tardio	Inicial
Relação/ Anel	IE ¹	IE ¹	CFL ² (%)	CFL ² (%)	FP ³ (%)	FP ³ (%)	C/E ⁴	C/E ⁴	IR ⁵	IR ⁵
2	58,1 a	55,0 a	68,6 a	77,3 a	31,4 a	22,7 a	394,8 a	525,4 a	0,482 a	0,307 a
4	75,1 b	67,4 b	65,9 ab	74,5 a	34,2 ab	25,5 a	457,5 a	569,7 a	0,539 ab	0,356 a
6	85,2 bc	76,6 c	61,2 b	74,2 a	38,8 b	25,8 a	454,4 a	614,1 a	0,663 b	0,353 a
8	90,6 c	85,3 c	60,5 b	72,9 a	39,5 b	27,1 a	462,1 a	661,7 a	0,663 b	0,383 a
<i>Pinus taeda</i>										
Lenho	Tardio	Inicial	Tardio	Inicial	Tardio	Inicial	Tardio	Inicial	Tardio	Inicial
Relação/ Anel	IE ¹	IE ¹	CFL ² (%)	CFL ² (%)	FP ³ (%)	FP ³ (%)	C/E ⁴	C/E ⁴	IR ⁵	IR ⁵
2	65,2 a	58,2 a	64,3 a	80,2 a	35,7 a	19,8 a	388,0 a	681,4 a	0,591 a	0,265 a
4	74,9 ab	68,2 b	57,9 ab	79,2 a	42,1 ab	20,8 a	360,5 a	760,6 a	0,738 ab	0,283 a
6	82,4 bc	75,3 b	52,8 b	72,8 a	47,2 b	27,2 a	354,5 a	641,9 a	0,918 b	0,402 a
8	86,5 c	76,2 b	55,7 b	75,5 a	44,3 b	24,5 a	404,9 a	760,9 a	0,831 ab	0,365 a

¹IE = Índice de enfiamento (IE = l / D)

²CFL = Coeficiente de flexibilidade (CFI = d / D x 100) (%)

³FP = Fração parede (FP = [e / (D/2)] x 100) (%)

⁴C/E = Relação comprimento do traqueóide e espessura da parede celular (C/E = l / e)

⁵IR = Índice de Runkel (IR = 2e / d)

⁶As médias das relações calculadas, entre os anéis anuais de crescimento, acompanhadas da mesma letra são estatisticamente iguais entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Ao se analisar as relações médias entre as dimensões dos traqueóides axiais das duas espécies nos anéis anuais de crescimento, nota-se que ocorre incremento no Índice de Enfiamento do segundo ao oitavo anel, em função do aumento no comprimento dos traqueóides, tanto no lenho inicial como no tardio para ambas as espécies; no oitavo anel

valores superiores para *Pinus maximinoi*; o que indica incremento nas resistências da celulose com o aumento da idade da madeira (DINWOODIE, 1965). Observa-se também diminuição significativa do Coeficiente de Flexibilidade no lenho tardio, sendo estes também superiores para *Pinus maximinoi*, o que pode indicar maior resistência ao estouro, tração e permeância ao ar do papel correspondente, em função da melhor conformação das fibras pela maior flexibilidade das fibras (DINWOODIE, 1965).

Como pode ser observado pelo teste de comparação de médias (Tabela 26), os traqueóides de lenho inicial não apresentam variação significativa entre as médias nos anéis de crescimento, com exceção do Índice de Enfeltramento (IE), enquanto que para o lenho tardio com exceção da Relação Comprimento/Espessura da parede celular, ocorrem diferenças entre os anéis, o que era esperado em função da maior variação nos anéis de crescimento das dimensões dos traqueóides no lenho tardio, especialmente a espessura da parede celular.

As Tabelas 27 e 28 apresentam os resumos das análises de variância, dos valores médios das relações calculadas entre as dimensões dos traqueóides axiais, nos anéis anuais de crescimento para o lenho tardio e inicial de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*, onde analisou-se os valores médios calculados nos anéis de crescimento entre as espécies, e entre os anéis de crescimento e espécies.

Nota-se que entre as duas espécies nos anéis anuais de crescimento (Tabela 27), as relações entre as dimensões dos traqueóides do lenho tardio, com exceção do Índice de Enfeltramento (IE) apresentam diferenças estatísticas significativas, confirmando a diferença entre os traqueóides de lenho tardio entre as duas espécies, já para o lenho inicial, com exceção da relação Comprimento/Espessura (C/E), não ocorrem diferenças significativas, confirmando a maior similaridades entre os traqueóides de lenho inicial das duas espécies.

Por outro lado, considerando-se os resultados médios entre os anéis de crescimento das duas espécies, (Tabela 28), ocorrem diferenças significativas para os índices de Enfeltramento dos dois tipos de lenho, para o Coeficiente de Flexibilidade, Fração Parede e Índice de *Runkel* do lenho tardio, enquanto que para o lenho inicial, não ocorre diferença significativa.

TABELA 27 - RESUMOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS RELAÇÕES CALCULADAS ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, A ALTURA DO DAP, NOS ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

Tipo de Lenho	Relação	Quadrado médio Espécie	Quadrado médio Erro	F (1,112)	
Tardio	IE ¹	0,001	81,58	0,00006	n.s.
Inicial	IE ¹	78,3	66,29	1,18090	n.s.
Tardio	CFL ²	4827,4	221,28	21,81619	**
Inicial	CFL ²	586,0	307,07	1,90838	n.s.
Tardio	FP ³	1206,9	55,32	21,81619	**
Inicial	FP ³	146,5	76,77	1,90838	n.s.
Tardio	C/E ⁴	127655,1	7619,14	16,75452	**
Inicial	C/E ⁴	421106,0	51455,55	8,18388	**
Tardio	IR ⁵	1,0	0,05	21,88825	**
Inicial	IR ⁵	0,0	0,03	0,42025	n.s.

$F_{05}(1,112) = 3,93$

$F_{01}(1,112) = 6,86$

n.s. = não significativo,

* = significativo a 95% de probabilidade,

** = significativo 99% de probabilidade

¹IE = Índice de enfileiramento ($IE = l / D$)

²CFL = Coeficiente de flexibilidade ($CFI = d / D \times 100$) (%)

³FP = Fração parede ($FP = [e / (D/2)] \times 100$) (%)

⁴C/E = Relação comprimento do traqueóide e espessura da parede celular ($C/E = l / e$)

⁵IR = Índice de Runkel ($IR = 2e / d$)

A partir destas observações pode-se esperar resultados de resistência da celulose e do papel correspondente, diferenciados para as espécies estudadas (WATSON & DADSWELL, 1962), porém segundo DINWOODIE (1965), outros fatores podem influenciar os resultados, e devem ser considerados, sendo que um desses fatores, segundo o autor, é a proporção lenho inicial/tardio.

Comparando-se os resultados médios para as relações entre as dimensões dos traqueóides obtidos nesse estudo para *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, mesmo apresentados separadamente para lenho inicial e lenho tardio e em anéis de crescimento, com os resultados obtidos por FOELKEL (1976), para algumas espécies de coníferas: *Araucaria angustifolia* de

idade indeterminada; *Pinus elliottii* com 8 anos; *Pinus taeda* com 11 anos; *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 8 anos; todas plantadas no Brasil, e ainda com *Pinus elliottii* de 18 anos e *Pinus taeda* de 16 anos, essas plantadas nos Estados Unidos; observa-se que as relações assemelham-se se considerarmos a diferença na amostragem.

TABELA 28 - RESUMOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS RELAÇÕES CALCULADAS ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS DE LENHO INICIAL E TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, A ALTURA DO DAP, DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* ENTRE OS ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO.

Tipo de Lenho	Relação	Quadrado médio Anel de crescimento	Quadrado médio Erro	F (3,112)	
Tardio	IE ¹	4184,05	81,58	51,29006	**
Inicial	IE ¹	3359,06	66,29	50,67407	**
Tardio	CFL ²	2179,45	221,28	9,84945	**
Inicial	CFL ²	693,55	307,07	2,25861	n.s.
Tardio	FP ³	544,86	55,32	9,84945	**
Inicial	FP ³	173,39	76,77	2,25861	n.s.
Tardio	C/E ⁴	9301,15	7619,14	1,22076	n.s.
Inicial	C/E ⁴	66270,49	51455,55	1,28792	n.s.
Tardio	IR ⁵	0,39	0,05	8,54780	**
Inicial	IR ⁵	0,06	0,03	1,89320	n.s.

F₀₅ (3,112) = 2,69

F₀₁ (3,112) = 3,96

n.s. = não significativo,

* = significativo a 95% de probabilidade,

** = significativo 99% de probabilidade

¹IE = Índice de enfileiramento (IE = l / D)

²CFL = Coeficiente de flexibilidade (CFI = d / D x 100) (%)

³FP = Fração parede (FP = [e / (D/2)] x 100) (%)

⁴C/E = Relação comprimento do traqueóide e espessura da parede celular (C/E = l / e)

⁵IR = Índice de Runkel (IR = 2e / d)

A exceção de *Araucaria angustifolia*, que por apresentar traqueóides axiais em média mais longos (5,15 mm) forneceu Índice de Enfileiramento de 109, e Relação comprimento/Espessura da parede celular de 810, valores esses bem superiores aos das outras

espécies, e também aos obtidos para *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda* desse estudo. As maiores diferenças observadas foram em relação aos traqueóides de lenho tardio, obviamente em função da espessura de suas paredes celulares que fornecem menores Coeficientes de Flexibilidade e Relação Comprimento/Espessura e maior porcentagem da Fração Parede e do Índice de *Runkel*.

A importância das relações entre a morfologia das fibras e propriedades do papel foram detalhadamente revisadas por DINWOODIE (1965). Destaca-se que o autor, cita vários pesquisadores que constataram a correlação positiva entre o Índice de Enfeltramento (IE), e as propriedades de resistência do papel, bem como o Coeficiente de Flexibilidade (CFL), que apresenta relação significativa com a resistência à tração e ao estouro do papel. Peteri (1954), e Petroff & Normand (1961), citados pelo autor, encontraram em seus trabalhos importante correlação positiva entre o Índice de Enfeltramento (IE) com a resistência ao rasgo do papel; enquanto que o próprio autor em seu estudo, aponta como principal variável relacionada à resistência ao rasgo do papel, a Fração Parede (FP).

6.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

Os resultados médios das propriedades físicas da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda* (massa específica básica ponderada e porcentagem de lenho tardio ponderada para as árvores amostradas), juntamente com as características medidas e calculadas para as árvores, como altura, volume e porcentagem de casca; a massa específica básica e porcentagem do lenho tardio ao longo do fuste das árvores amostradas, propriedades de retratibilidade (contrações máximas volumétrica, tangencial, radial e longitudinal, anisotropia de contração e coeficientes de retratibilidade), são apresentados neste item. São apresentados também os resultados dos testes de hipóteses de igualdade H_0 , entre as médias determinadas para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, pelo teste "t" de *Student*.

Além disso, são apresentadas as correlações determinadas entre as propriedades físicas, massa específica aparente e porcentagem de lenho tardio, características medidas nas árvores como altura e diâmetro, e propriedades de retratibilidade, através de regressões lineares simples, a 95% de probabilidade.

6.4.1 Características das árvores amostradas

As Tabelas 29 e 30 apresentam os resultados obtidos na amostragem das árvores por espécie, medidos e calculados, com seus respectivos desvios padrões e coeficiente de variação.

TABELA 29 - CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi* DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO, ALTURA TOTAL, ALTURA COMERCIAL, VOLUME COMERCIAL COM CASCA E SEM CASCA, PORCENTAGEM DE CASCA, MASSA ESPECÍFICA PONDERADA MÉDIA E PORCENTAGEM PONDERADA MÉDIA DE LENHO TARDIO, 2000.

Árvore	DAP ¹ (cm)	Altura total (m)	Altura comercial (m)	Volume comercial c/c ⁵ (m ³)	Volume comercial s/c ⁶ (m ³)	Casca (%)	$\rho_{b,m}$ ² (kg.m ⁻³)	Lenho tardio (%)
1	31,5	22,9	17,8	0,6284	0,5244	16,6	412,2	7,1
2	28,6	23,7	17,5	0,4661	0,4102	12,0	412,7	5,3
3	25,8	20,8	16,0	0,4045	0,3638	10,1	400,5	5,8
4	26,4	23,2	17,3	0,4599	0,4106	10,7	344,0	5,1
5	28,3	23,1	17,6	0,4944	0,4093	17,2	438,6	8,6
6	28,3	23,4	16,8	0,5435	0,4883	10,2	443,9	6,5
7	29,3	22,2	18,8	0,5988	0,5591	15,8	379,6	3,7
8	31,5	22,7	18,0	0,6526	0,5712	12,5	370,0	6,6
9	28,0	23,6	15,7	0,4800	0,3922	18,3	448,1	6,1
10	25,1	22,0	16,5	0,4195	0,3780	9,9	407,6	6,2
11	24,2	22,8	16,0	0,3876	0,3124	19,4	408,4	5,2
12	29,0	20,9	16,4	0,4546	0,3731	17,9	381,1	4,7
13	29,3	22,6	18,7	0,6056	0,5294	12,6	429,2	6,6
14	23,2	20,0	15,8	0,3427	0,2937	14,3	398,4	10,5
15	32,5	24,3	20,5	0,6857	0,5806	15,3	472,8	7,2
Média	28,07	22,55	17,3	0,5082	0,43975	14,2	409,8	6,35
D. padrão ³	2,70	1,19	1,34	0,1050	0,0946	3,27	33,48	1,63
C.V. ⁴ (%)	9,62	5,28	7,75	20,66	21,51	23,03	8,17	25,67

¹DAP = Diâmetro a altura do peito (1,30 m)

² $\rho_{b,m}$ = Massa específica básica

³D. padrão = desvio padrão

⁴C.V. = coeficiente de variação.

⁵c/c = com casca

⁶s/c = sem casca

TABELA 30 - CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus taeda*. DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO, ALTURA TOTAL, ALTURA COMERCIAL, VOLUME COMERCIAL COM CASCA E SEM CASCA, PORCENTAGEM DE CASCA, MASSA ESPECÍFICA PONDERADA MÉDIA E PORCENTAGEM PONDERADA MÉDIA DE LENHO TARDIO, 2000.

Árvore	DAP ¹ (cm)	Altura total (m)	Altura comercial (m)	Volume comercial c/c ⁵ (m ³)	Volume comercial s/c ⁶ (m ³)	Casca (%)	$\rho_{b,m}$ ² (kg.m ⁻³)	Lenho tardio (%)
1	27,1	16,2	12,5	0,3797	0,3409	10,2	418,6	27,6
2	27,7	15,9	11,4	0,3799	0,3401	10,5	426,0	30,8
3	27,7	13,6	10,4	0,3579	0,3081	13,9	412,0	27,7
4	31,8	15,2	11,0	0,3923	0,3411	13,1	431,3	36,5
5	31,5	15,9	11,8	0,4633	0,4003	13,6	400,2	22,4
6	29,9	15,2	11,8	0,4396	0,3890	11,5	369,5	22,2
7	28,6	15,6	12,8	0,3825	0,3465	9,4	428,3	30,1
8	30,6	15,8	12,4	0,4882	0,4484	8,1	415,1	21,9
9	25,1	12,9	9,3	0,2763	0,2338	15,4	429,8	30,8
10	28,6	14,3	11,0	0,3938	0,3520	10,6	426,0	32,9
11	25,8	15,7	11,8	0,3451	0,2957	14,3	438,6	26,5
12	29,3	15,6	11,2	0,4025	0,3543	12,0	412,9	23,9
13	25,1	15,2	11,2	0,3110	0,2720	12,5	435,5	27,5
14	27,4	13,6	10,2	0,3275	0,2924	10,7	440,4	31,1
15	23,9	13,7	11,6	0,2938	0,2625	10,6	416,8	27,7
Média	28,01	14,96	11,4	0,3756	0,3318	11,8	420,1	27,99
D. padrão ³	2,38	1,05	0,92	0,0599	0,0563	2,02	17,85	4,21
C.V. ⁴ (%)	8,50	7,02	8,07	15,95	16,97	17,11	4,25	15,04

¹DAP = Diâmetro a altura do peito (1,30 m)

² $\rho_{b,m}$ = Massa específica básica

³D. padrão = desvio padrão

⁴C.V. = coeficiente de variação.

⁵c/c = com casca

⁶s/c = sem casca

Procedeu-se a comparação das médias determinadas para as características das árvores amostradas, pelo teste “t” de *Student* (NEWMARK, 1988), cujo resumo é apresentado na Tabela 31.

Comparando-se os resultados das Tabelas 30 e 31, observa-se que a variação do diâmetro a altura do peito (DAP, a 1,30 m) entre as árvores amostradas de *Pinus maximinoi* e

Pinus taeda, é semelhante entre si, 9,6 e 8,5%, a classe de diâmetros a altura do peito amostrada foi entre 23,9 e 32,5 cm, obtendo-se diâmetros médios para as espécies de 28,07 e 28,01 cm, cuja diferença é estatisticamente não significativa, aceitando-se a hipótese de igualdade entre os diâmetros amostrados para as espécies.

As alturas total e comercial, variáveis também medidas, porém não determinantes na seleção das amostras, apresentam para as duas espécies coeficientes de variação relativamente baixos de 5,3 e 7,8 % para *Pinus maximinoi* (de 20 a 24,3 m e de 15,8 a 20,5 m de altura total e comercial respectivamente), e de 7,0 e 8,1% para *Pinus taeda*, (12,9 a 16,2 m e de 9,3 a 12,8 m de altura total e comercial respectivamente), o que se espera pela alta correlação que a altura apresenta com os diâmetros em coníferas. Porém, verifica-se entre as espécies grande diferença na altura média, que é estatisticamente significativa. Em termos percentuais a altura média total é 50,7% superior para *Pinus maximinoi* e 51,8% em altura comercial.

Em consequência da maior altura comercial, obteve-se também maiores volumes comerciais com casca e sem casca para *Pinus maximinoi*, superiores em 35,4% e 32,6% respectivamente. Estas diferenças também significativas, rejeitando-se a hipótese de igualdade H_0 , para estas características, sendo que as árvores amostradas de *Pinus maximinoi* são mais altas e com maiores volumes comerciais com casca e sem casca do que as árvores amostradas de *Pinus taeda*.

Observa-se também que os coeficientes de variação das características entre as árvores amostradas de *Pinus maximinoi* são mais elevados, a exceção da altura total e comercial, onde são mais homogêneas.

WRIGHT & WESSELS (1992), apresentam o volume comercial médio de 0,153 m³, para 10 árvores de *Pinus maximinoi* com 10,5 anos de idade de características de crescimento superiores, de teste de progênies na África do Sul, determinados até o diâmetro comercial de 5 cm, com variação de 0,081 a 0,300 m³ entre árvores, como pode-se observar, com alta variação entre as árvores amostradas. Embora os resultados apresentados pelos autores não sejam claros, em relação ao volume médio apresentado ser com casca ou sem casca, visto relacionarem na metodologia a medição dos diâmetros com e sem casca, e não informarem as alturas medidas, pode-se inferir ao comparar os volumes determinados para as árvores amostradas nesse estudo, que o crescimento e produção no sítio amostrado na região de Ventania-PR, foi muito superior àqueles na África do Sul.

As determinações médias por árvore da porcentagem de casca, foram realizadas de forma ponderada, levando-se em consideração suas posições ao longo do tronco e o volume correspondente, obtendo-se porcentagem média ponderada de casca superior em *Pinus maximinoi* (14,2%) enquanto que para *Pinus taeda* obteve-se 11,8%, diferença estatisticamente significativa, sendo a variação também superior entre as árvores de *Pinus maximinoi*.

TABELA 31 - RESUMO DO TESTE "t" DE *STUDENT*, PARA AS CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES, DETERMINADAS PARA AS ÁRVORES AMOSTRADAS ENTRE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*

Característica/ Propriedade	g.l.	probabilidade	T	
Diâmetro (DAP a 1,3 m)	29	0,9460	0,07	n.s.
Altura total	29	0,0001	18,49	**
Altura comercial	29	0,0001	14,16	**
Volume comercial c/c	29	0,0002	4,25	**
Volume comercial s/c	29	0,0007	3,80	**
Casca (%)	29	0,0210	2,45	*
Massa específica básica	29	0,3034	-1,05	n.s.
Lenho tardio (%)	29	0,0001	-18,55	**

$t_{05}(29) = 2,045$

$t_{01}(29) = 2,756$

n.s. = não significativo

* = significativo a 95% de probabilidade

** = significativo a 99% de probabilidade

Da mesma forma, ao se comparar a massa específica básica média ponderada entre as espécies, observa-se que para *Pinus maximinoi* é numericamente inferior $409,8 \text{ kg.m}^{-3}$, já que em *Pinus taeda* é de $420,1 \text{ kg.m}^{-3}$, porém estatisticamente a diferença não é significativa, aceitando-se a hipótese de igualdade H_0 . Os coeficientes de variação entre espécie são relativamente baixos, porém superiores entre as amostras de *Pinus maximinoi*.

Para *Pinus maximinoi*, as árvores apresentam variação na massa específica básica entre 344 a $472,8 \text{ kg.m}^{-3}$ e as de *Pinus taeda* variam entre 369,5 e $440,4 \text{ kg.m}^{-3}$. Nota-se que nominalmente as diferenças são consideráveis, embora estejam dentro da variação esperada para espécies de rápido crescimento do gênero *Pinus*, segundo KOCH (1972). A maior

variação entre as árvores de *Pinus maximinoi* pode estar relacionada as procedências distintas entre as mesmas, enquanto que as de *Pinus taeda*, amostradas em plantio comercial, foram provavelmente em algum grau, selecionadas geneticamente.

De acordo com DVORAK & DONAHUE (1988), a massa específica média determinada em 59 árvores de *Pinus maximinoi*, de três procedências do México e Honduras, a partir de baguetas, retiradas de árvores em pé com trados de 12 mm de diâmetro, foi de 430 kg.cm⁻³ para a madeira juvenil (considerados os 15 primeiros anéis anuais de crescimento a partir da medula), e 490 kg.cm⁻³ para a madeira adulta, sendo que o coeficiente de variação entre árvores para o lenho juvenil nas três procedências apresentou-se na faixa entre 9 a 12 %.

Os mesmos autores, citando Ladrach (1985), reportam a massa específica média de 390 kg.cm⁻³, para árvores de *Pinus maximinoi* com oito anos de idade, plantadas na Colômbia.

O CENTRO TÉCNICO DE EVALUACION FORESTAL (1972), relaciona a massa específica básica média de 400 kg.cm⁻³, determinada em corpos de prova da madeira de *Pinus maximinoi* (ex *Pinus tenuifolia*), com dimensões de 3 x 3 x 10 cm, de cinco árvores com idade entre 28 e 34 anos, amostradas na Guatemala.

WRIGHT & WESSELS (1992), apresentam a massa específica aparente média (seca ao ar) de 456 kg.m⁻³, para 10 árvores de *Pinus maximinoi* com 10,5 anos de idade de características de crescimento superiores, de teste de progênies na África do Sul, a variação entre árvores foi na faixa de 399 a 505 kg.m⁻³.

Consideradas as diferenças de amostragem, visto que a massa específica média ponderada por árvore nesse estudo foi determinada por discos coletados em 6 diferentes alturas ao longo do fuste, e a média ter sido calculada levando-se em consideração o volume de madeira nas seções relativas do fuste, o que não ocorreu na metodologia dos trabalhos citados, observa-se similaridade nos resultados apresentados, considerando-se a madeira juvenil e a variação esperada para espécies do gênero.

Já para os valores médios determinados para *Pinus taeda*, os resultados desse estudo situam-se na faixa de variação dos resultados encontrados por pesquisadores que trabalharam com árvores de idades próximas e plantadas no sul do Brasil, como MORESCHI (1975) e TOMASELLI (1979).

Ao se observar as porcentagens médias ponderadas de lenho tardio, determinadas por árvores amostradas para as duas espécies, nota-se que para *Pinus maximinoi* as médias entre árvores apresentam alta variação (25,7%), de 3,7 a 10,5% e com média de 6,35%,

consideravelmente inferior à observada nas árvores de *Pinus taeda*, cuja média é de 27,99%, com uma variação de 15% (de 21,9 a 36,5%), diferença entre as espécies significativa, rejeitando-se a hipótese H_0 de igualdade e, a grande diferença na porcentagem de lenho tardio, provavelmente esteja relacionada às características genéticas das duas espécies.

Ressalta-se que nas amostras de *Pinus maximinoi*, nas quais foram realizadas as determinações, nos primeiros anéis anuais de crescimento, a contar da medula, o lenho tardio é muito pouco desenvolvido e de difícil distinção a olho nu e, mesmo sob lupa, aspectos esses que podem ter influenciado os resultados apresentados, bem como sua variação.

Porém, a baixa porcentagem de lenho tardio parece ser uma característica para a espécie em árvores plantadas fora do habitat natural, visto que WRIGHT & MALAN (1991), determinaram porcentagens de lenho tardio também muito baixas para 10 árvores de *Pinus maximinoi*, com 10,5 anos de idade de características de crescimento superiores, oriundas de teste de progênies na África do Sul, a variação entre árvores foi na faixa 1,4 a 7,8 %, com média entre as árvores amostradas de 4,5%, valores inferiores aos verificados na madeira juvenil de *Pinus maximinoi* determinada nesse estudo, contudo as diferenças podem estar relacionadas as condições de crescimento das árvores. Os autores concluíram que a baixa porcentagem de lenho tardio indica madeira uniforme e homogênea, sendo esta uma vantagem na utilização da madeira para diversos usos finais.

Na madeira juvenil de *Pinus taeda*, como é característico para as espécies do gênero *Pinus*, em plantios de rápido crescimento os primeiros anéis anuais de crescimento também apresentam o lenho tardio pouco desenvolvido (MUÑIZ, 1993). Entretanto nas amostras utilizadas para sua determinação nesse estudo, as faixas de lenho tardio foram visualizadas e detectadas a olho nu. O resultado médio ponderado para as árvores amostradas de 27,99%, é superior ao determinado por MUÑIZ (1993), que foi de 22,75%, para a madeira juvenil em árvores de 30 anos.

6.2.2 Massa específica básica ao longo do fuste

A Tabela 32, apresenta os resultados médios determinados para a massa específica básica da madeira juvenil, ao longo do fuste das árvores amostradas para *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, juntamente com seus desvios padrões, coeficientes de variação e indicação da

comparação das médias entre as alturas relativas e a 1,30 m, pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

TABELA 32 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA MÉDIA POR POSIÇÃO (ALTURA) RELATIVA AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*, 2000.

<i>Pinus maximinoi</i>							
Posição	$\rho_{b,m}^1$ (kg.m ⁻³)	Comp. Médias	Desvio padrão	C.V. ² (%)	Dc/c ³ (cm)	Ds/c ⁴ (cm)	N ⁵
Base	459,9	a	36,809	8,00	32,0	27,3	15
1,30 m	432,5	ab	39,724	9,18	26,6	23,7	15
0,25 Hc ⁶	414,1	bc	41,495	10,02	22,2	20,9	15
0,50 Hc ⁷	393,7	cd	31,935	8,11	18,4	17,6	15
0,75 Hc ⁸	382,4	cd	30,196	7,90	14,2	13,5	15
Hc ⁹	369,2	d	27,389	7,41	9,0	8,6	15
<i>Pinus taeda</i>							
Base	467,4	a	23,864	5,11	32,2	29,3	15
1,30 m	465,3	a	29,866	6,42	26,7	24,7	15
0,25 Hc ⁶	423,0	b	22,500	5,32	24,0	22,7	15
0,50 Hc ⁷	391,5	bc	22,217	5,67	20,2	19,3	15
0,75 Hc ⁸	371,9	bc	16,517	4,44	14,5	13,8	15
Hc ⁹	364,8	bc	15,459	4,23	7,4	7,1	15

¹ $\rho_{b,m}$ = massa específica básica média.

²C.V. = coeficiente de variação

⁵N = número de amostras por espécie.

³Dc/c = diâmetro com casca

⁴Ds/c = diâmetro sem casca

⁶0,25 Hc = posição a 25% da altura comercial.

⁷0,50 Hc = posição a 50% da altura comercial.

⁸0,75 Hc = posição a 75% da altura comercial.

⁹Hc = altura comercial, correspondente a diâmetro mínimo igual a 8 cm.

Comp. médias = letras iguais indicam a igualdade entre médias, a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A Figura 34 ilustra a tendência observada para a massa específica básica média ao longo do fuste, da base, a 1,30 m (altura do DAP), e às alturas relativas de 0,25; a 0,50; a 0,75 da altura comercial e na altura comercial; para as duas espécies estudadas.

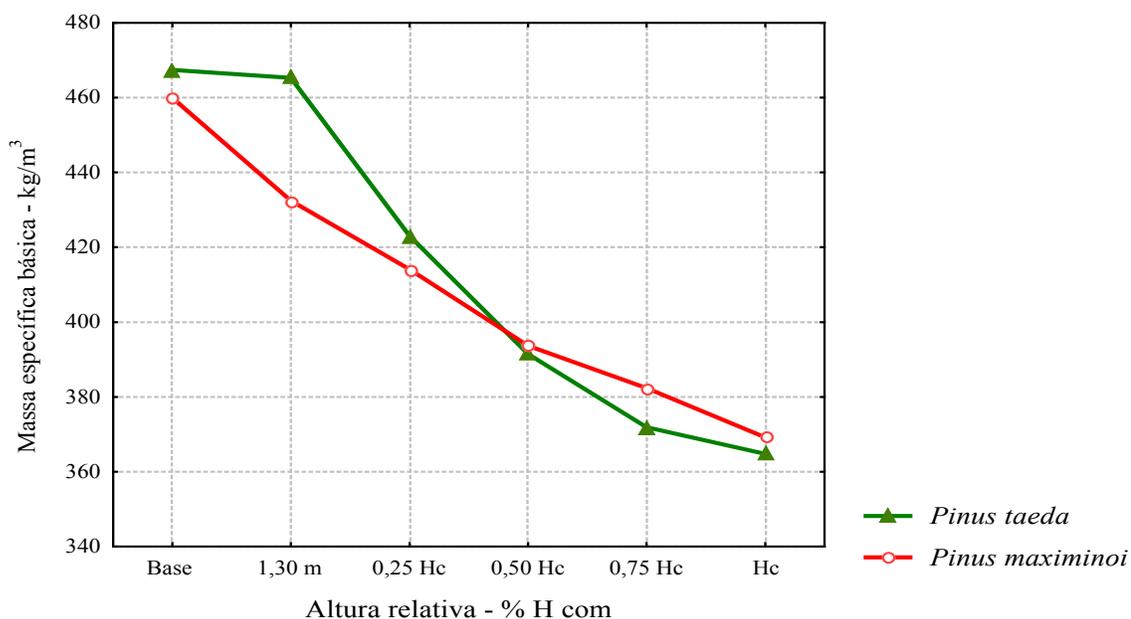


FIGURA 34 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA MÉDIA DA MADEIRA JUVENIL NAS ALTURAS RELATIVAS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*

Observa-se pelos resultados médios (Tabela 32 e Figura 34) que a variação entre as massas específicas básicas médias a partir da base até a altura comercial (460 a 369 kg.m⁻³) decresceu 19,7 % para *Pinus maximinoi*; e para *Pinus taeda* 22%. A madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresenta portanto variação da massa específica básica menor que as de *Pinus taeda* ao longo do fuste. Observa-se, também, que até a posição 0,25 da altura comercial, a massa específica básica média é superior para *Pinus taeda*, invertendo-se nas posições superiores à metade da altura comercial, quando a massa específica básica é maior para *Pinus maximinoi*. Comparando-se os coeficientes de variação nas posições relativas, nota-se que a variação entre as árvores é relativamente baixa, sendo maiores para *Pinus maximinoi* entre 7,4 a 10,0 %, indicando maior variabilidade na população dessa espécie; enquanto que em *Pinus taeda* de 4,2 a 6,4 %, acompanhando a mesma tendência da média ponderada entre as árvores, o que confirma a observação anteriormente discutida, que a maior variação entre as árvores de *Pinus maximinoi*, em comparação as de *Pinus taeda*, pode estar relacionada ao fato de que *Pinus taeda* tenha sido selecionado geneticamente a algum grau, em razão de sua

origem comercial. A maior variabilidade em contrapartida, pode ser um fator relevante para *Pinus maximinoi*, uma vez que possibilita maior grau de melhoramento genético.

A alta variabilidade da massa específica na árvore e entre árvores é característica reconhecida nas espécies do gênero *Pinus*, e é devida principalmente a fatores genéticos, ambientais, silviculturais entre outros, podendo chegar a 30% em relação a média da espécie, segundo TREDELENBURG & MAYER-WEGELIN (1956).

A tendência de diminuição da massa específica básica com a altura na árvore é ressaltada por vários pesquisadores como KOLLMANN (1951); GOGGANS (1961), ELLIOT (1970); CHOONG et al (1989); entre outros, e constatada por MORESCHI (1975); TOMASELLI (1979); KLOCK (1989) e MUÑIZ (1993), para espécies do gênero *Pinus* com rápido crescimento plantadas no Brasil.

O decréscimo da massa específica com a altura é esperado e origina-se pelo efeito da idade, pois à maiores alturas há menor número de anéis anuais de crescimento. Eliminando-se o efeito da idade e comparando-se a madeira com o mesmo número de anéis, a partir da medula, a massa específica virtualmente permanece constante a qualquer nível do tronco (COWN, 1980).

KLOCK et al. (2000),¹ observaram decréscimo diferenciado da massa específica básica em relação a altura, para classes diamétricas distintas (de 15 a 20 cm; 20 a 25 cm e 25 a 30 cm), de árvores com 25 anos de *Pinus taeda*, coletadas na região de Santa Cecília-SC. A menor redução ocorreu na menor classe (9,9%), enquanto que na maior classe 25,4%, em valores numéricos a variação na classe dominante foi de 504 a 376 kg.m⁻³. Nota-se que a redução percentual observada para as duas espécies desse estudo (19,7 e 22%) são pouco inferiores a redução em massa da classe dominante.

As análises de variância realizadas, conforme resumo apresentado na Tabela 33, mostram que o decréscimo da massa específica básica das duas espécies estudadas com a altura, considerando-se o efeito da idade é muito significativa.

¹ KLOCK, U., VENSON, I., ANDRADE, A.S; RUTHES, R. MOCELIN, EZ; BITTENCOURT, E. Avaliação das propriedades químicas, físicas da madeira e do papel de *Pinus taeda* atacada por vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*). RELATÓRIO TÉCNICO. Convênio UFPR - Fupef - Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - Klabin Celucat. Curitiba, 2000.

TABELA 33 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA NAS ALTURAS RELATIVAS, DETERMINADAS PARA AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*

Massa específica básica	Quadrado Médio	Quadrado Médio	F	
	Altura relativa	Erro	(5,84)	
<i>Pinus maximinoi</i>	17097,21	1222,753	13,98256	**
<i>Pinus taeda</i>	30799,97	495,1374	62,20490	**

$F_{05}(5,84) = 2,34$

$F_{01}(5,84) = 3,24$

** = significativo a 99% de probabilidade

A comparação das médias de massa específica pela aplicação do teste de Tukey a 95 % de probabilidade, mostra que para *Pinus maximinoi* ocorrem diferenças significativas entre a altura de 1,30 m, a 0,25; a 0,50 e a 0,75 da altura comercial, ocorrendo decréscimo gradual como pode ser observado na Figura 34. O decréscimo da massa específica em *Pinus taeda* é mais abrupto especialmente entre 1,30m e 0,25 da altura comercial, e 0,50 da altura comercial, estatisticamente a 95% de probabilidade não ocorre diferença significativa da metade da altura comercial à altura comercial, o que indica maior homogeneidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* ao longo do fuste, que indica vantagens na trabalhabilidade e utilização dessa madeira em relação a de *Pinus taeda*.

6.2.3 Porcentagem de lenho tardio ao longo do fuste

A Tabela 34, apresenta os resultados médios determinados para a porcentagem de lenho tardio da madeira juvenil, ao longo do fuste das árvores amostradas de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, juntamente com seus desvios padrões, coeficientes de variação e indicação da comparação das médias entre as alturas relativas e a 1,30 m, pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

A Figura 35, ilustra a tendência da ocorrência da porcentagem de lenho tardio média ao longo do fuste, ou seja, da base, a 1,30 m (altura do DAP), a 0,25; a 0,50; a 0,75 da altura comercial e na altura comercial; para as duas espécies estudadas.

Pode-se observar na Tabela 34 e Figura 35, a diferença entre as porcentagens de lenho tardio determinadas nas alturas relativas ao longo do fuste para as duas espécies.

Em *Pinus maximinoi*, a porcentagem de lenho tardio decresce de 8,2 a 4,4%, da base a 0,75% da altura comercial aumentando para 5,2% na altura comercial. Em *Pinus taeda* a porcentagem de lenho tardio decresce de 40,1 a 15,7 % da base à altura comercial. Como já discutido anteriormente, a grande diferença entre as porcentagens de lenho tardio entre as duas espécies provavelmente esta relacionado a fatores genéticos, ambientais, silviculturais, entre outros.

TABELA 34 - PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO NAS ALTURAS RELATIVAS AO LONGO DO FUSTE, COM RESPECTIVOS DESVIOS PADRÕES, COEFICIENTES DE VARIAÇÃO, E COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS, PARA *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*, 2000.

<i>Pinus maximinoi</i>							
Posição	% Lenho tardio	Comp. Médias	Desvio padrão	C.V. ¹ (%)	Dc/c ² (cm)	Ds/c ³ (cm)	N ⁴
Base	8,20	a	3,43	41,8	32,0	27,3	15
1,30	7,89	a	2,85	36,1	26,6	23,7	15
0,25 Hc ⁵	6,86	abd	2,14	31,2	22,2	20,9	15
0,50 Hc ⁶	5,34	bc	1,62	30,3	18,4	17,6	15
0,75 Hc ⁷	4,39	c	1,14	26,0	14,2	13,5	15
Hc ⁸	5,17	cd	1,72	33,3	9,0	8,6	15
<i>Pinus taeda</i>							
Base	40,07	a	7,08	17,7	32,2	29,3	15
1,30	33,92	b	5,06	14,9	26,7	24,7	15
0,25 Hc ⁵	28,18	c	5,09	18,1	24,0	22,7	15
0,50 Hc ⁶	23,66	cd	4,92	20,8	20,2	19,3	15
0,75 Hc ⁷	19,72	de	4,18	21,2	14,5	13,8	15
Hc ⁸	15,65	e	5,32	34,0	7,4	7,1	15

¹C.V. = coeficiente de variação

²Dc/c = diâmetro com casca

³Ds/c = diâmetro sem casca

⁴N = número de amostras

⁵0,25 Hc = posição a 25% da altura comercial.

⁶0,50 Hc = posição a 50% da altura comercial.

⁷0,75 Hc = posição a 75% da altura comercial.

⁸Hc = altura comercial, correspondente a diâmetro mínimo igual a 8 cm.

Comp. médias = letras iguais indicam a igualdade entre médias, a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

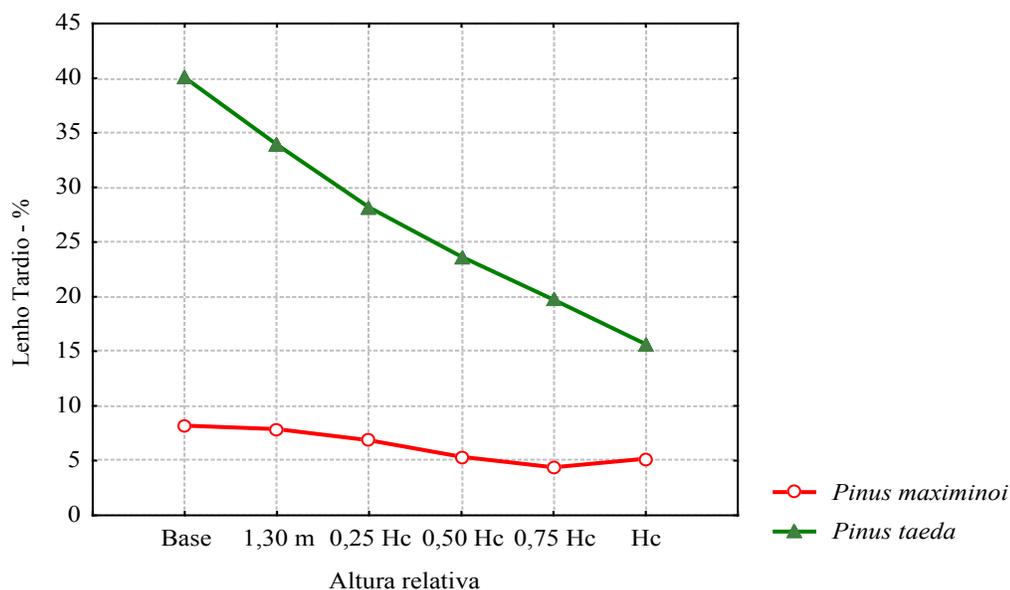


FIGURA 35 - COMPARAÇÃO ENTRE AS PORCENTAGENS DE LENHO TARDIO NAS POSIÇÕES RELATIVAS DAS ÁRVORES AMOSTRADAS ENTRE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*.

Entre as duas espécies estudadas, observa-se a tendência de decréscimo da porcentagem de lenho tardio com a altura, o que ocorre nominalmente de forma mais acentuada para *Pinus taeda*, em termos percentuais a redução da porcentagem de lenho tardio da base à altura comercial é de 37% para *Pinus maximinoi* e de 61% para *Pinus taeda*, o que está de acordo com o esperado para espécies do gênero *Pinus*, porém levando-se em consideração a diferença em proporção entre as duas espécies estudadas, confirma-se a maior homogeneidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* também nesta característica.

A Tabela 35, apresenta o resumo da análise de variância entre as alturas para as duas espécies, confirmando-se estatisticamente as diferenças entre as alturas de forma muito significativa.

TABELA 35 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO NAS ALTURAS RELATIVAS, DETERMINADAS PARA AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi*

Lenho tardio (%)	Quadrado Médio	Quadrado Médio	F	
	Altura relativa	Erro	(5,84)	
<i>Pinus maximinoi</i>	36,85	5,218	7,06241	**
<i>Pinus taeda</i>	1238,38	28,6352	43,24670	**

$F_{05}(5,84) = 2,34$

$F_{01}(5,84) = 3,24$

** = significativo a 99% de probabilidade.

A tendência de decréscimo da porcentagem de lenho tardio com a altura foi observada por MUÑIZ (1993) em árvores com 30 anos de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, coletadas na região de Irati-PR, ressalta a autora que em árvores de rápido crescimento de espécies do gênero *Pinus* é esperado o aumento da porcentagem de lenho tardio na direção medula-casca, pois nestas árvores geralmente os primeiros anéis anuais de crescimento a partir da medula são bastante largos e a faixa de lenho tardio estreita, a medida que se situam mais próximos a casca a porcentagem de lenho tardio aumenta de maneira significativa, em função dessa observação, espera-se que a porcentagem de lenho tardio seja superior a partir da base, por apresentarem maior número de anéis de crescimento de acordo com a idade. A medida que a altura aumenta diminuem os anéis de crescimento e conseqüentemente a porcentagem de lenho tardio tende a diminuir.

O acentuado decréscimo da porcentagem de lenho tardio ao longo do fuste foi observado por KLOCK et al. (2000),² em árvores com 25 anos de *Pinus taeda*, de 3 classes diamétricas (15 a 20 cm; 20 a 25 cm e 25 a 30 cm) coletadas na região de Santa Cecília-SC; nas quais os autores verificaram decréscimos de 35%, 51,9% e 75,5%, nas três classes diamétricas estudadas, observa-se que na maior classe diamétrica encontravam-se as árvores com maiores alturas. Comparados a esta tendência, os valores percentuais de decréscimo da porcentagem de lenho tardio observado para *Pinus taeda* nesse estudo encontra-se entre as classes diamétricas maiores, confirmando a heterogeneidade da madeira de *Pinus taeda* em

² KLOCK, U., VENSON, I., ANDRADE, A.S; RUTHES, R. EZEQUIEL., BITTENCOURT, E. Avaliação das propriedades químicas, físicas da madeira e do papel de *Pinus taeda* atacada por vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*). RELATÓRIO TÉCNICO. Convênio UFPR - Fupef - Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - Klabin Celucat. Curitiba, 2000.

relação a porcentagem de lenho tardio ao longo do tronco, em comparação a maior uniformidade da madeira de *Pinus maximinoi*.

Segundo BROWN et al. (1952), o aumento da porcentagem de lenho tardio em uma espécie relaciona-se diretamente com a massa específica e acontece devido ao lenho tardio conter maior proporção de material lenhoso por unidade de volume em relação ao lenho inicial.

6.2.4 Correlações entre propriedades físicas ao longo do fuste das árvores amostradas

A Figura 36 ilustra as regressões lineares entre a massa específica básica e a porcentagem de lenho tardio ao longo do fuste das árvores amostradas de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, e a Tabela 36, apresenta as equações lineares obtidas por regressão, a 95% de probabilidade, e os respectivos coeficientes de correlação.

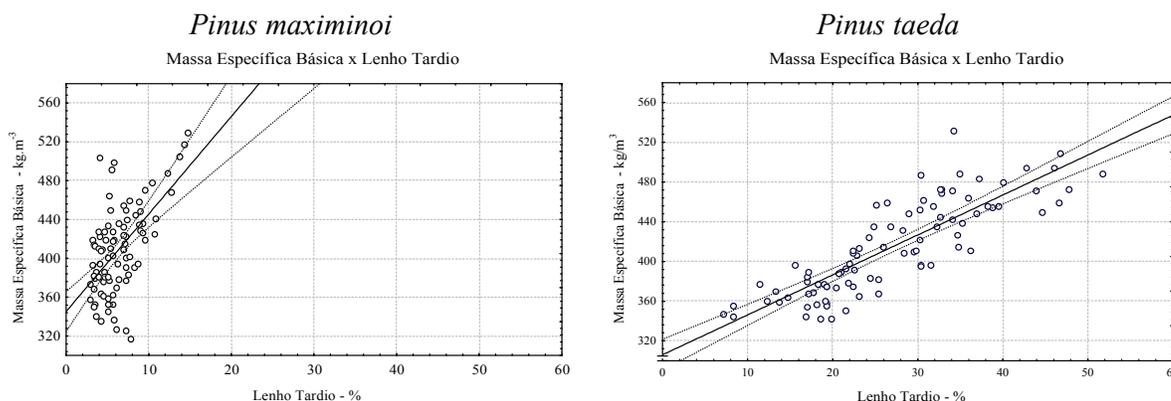


FIGURA 36 - REGRESSÕES LINEARES ENTRE A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO AO LONGO DO FUSTE PARA AS ÁRVORES DE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda* AMOSTRADAS.

TABELA 36 - EQUAÇÕES LINEARES E CORRELAÇÕES DETERMINADAS ENTRE A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*

Espécie	Equação	Correlação
<i>Pinus maximinoi</i>	$\rho_b = 345,30 + 10,042 \times LT$	$r = 0,57760$ *
<i>Pinus taeda</i>	$\rho_b = 305,97 + 4,0209 \times LT$	$r = 0,84299$ *

ρ_b = massa específica básica em kg.m^{-3}

LT = lenho tardio em %.

r = coeficiente de correlação

* = correlação significativa a 95% de probabilidade.

Observa-se na Figura 36 e Tabela 36 que a relação entre a massa específica básica e a porcentagem de lenho tardio ao longo do fuste, para as árvores de *Pinus maximinoi*, comparada a *Pinus taeda*, apresenta-se de forma concentrada em razão dos baixos valores médios observados, diferindo na amplitude de distribuição dos dados, apresenta correlação positiva menor, de 0,578; significativa estatisticamente; enquanto que a massa específica básica e a porcentagem de lenho tardio em *Pinus taeda* correlacionam-se melhor, com coeficiente de correlação igual a 0,843. A diferença das correlações entre as duas espécies confirmam a maior homogeneidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, na qual a massa específica é menos influenciada pelo lenho tardio.

Embora a alta correlação entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio para espécies do gênero *Pinus* seja esperada, o que é reconhecido por autores como BROWN et al. (1952) e KNIGGE & SCHULZ (1966), na madeira juvenil de árvores de rápido crescimento, em função da característica de maior variabilidade da massa específica, das características morfológicas dos traqueóides, dos altos conteúdos de polioses (KELLINSON, 1981), a correlação entre as duas propriedades tende a ser menor, comparada a madeira adulta, ou a árvores de maior idade.

Como exemplo KLOCK (1989), obteve correlações positivas de 0,84 e 0,72 entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio para a madeira de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, ambas com 14 anos de idade, e de 0,87 e 0,91 na madeira de árvores com 18 e 20 anos das duas espécies. Ressalta-se contudo, que as correlações foram obtidas em corpos de prova e não em discos ao longo do fuste, como nesse estudo.

A Figura 37, ilustra as relações lineares entre os diâmetros com casca, massa específica básica e porcentagem de lenho tardio das árvores de *P. maximinoi* e *P. taeda* amostradas.

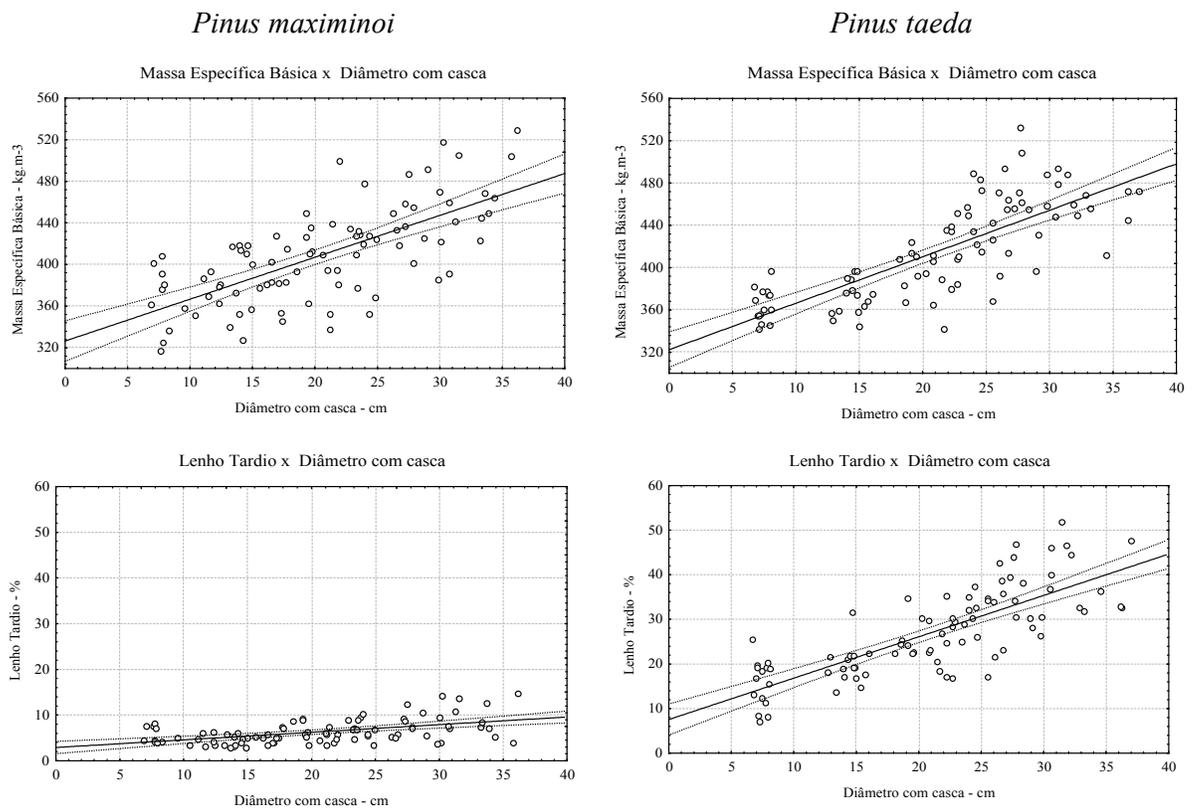


FIGURA 37 - REGRESSÕES LINEARES A 95% PROBABILIDADE, DAS RELAÇÕES ENTRE O DIÂMETRO COM CASCA, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

A Figura 38, ilustra as relações lineares entre a altura e diâmetro com casca, com a massa específica básica e a porcentagem de lenho tardio das árvores de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda* amostradas nesse estudo.

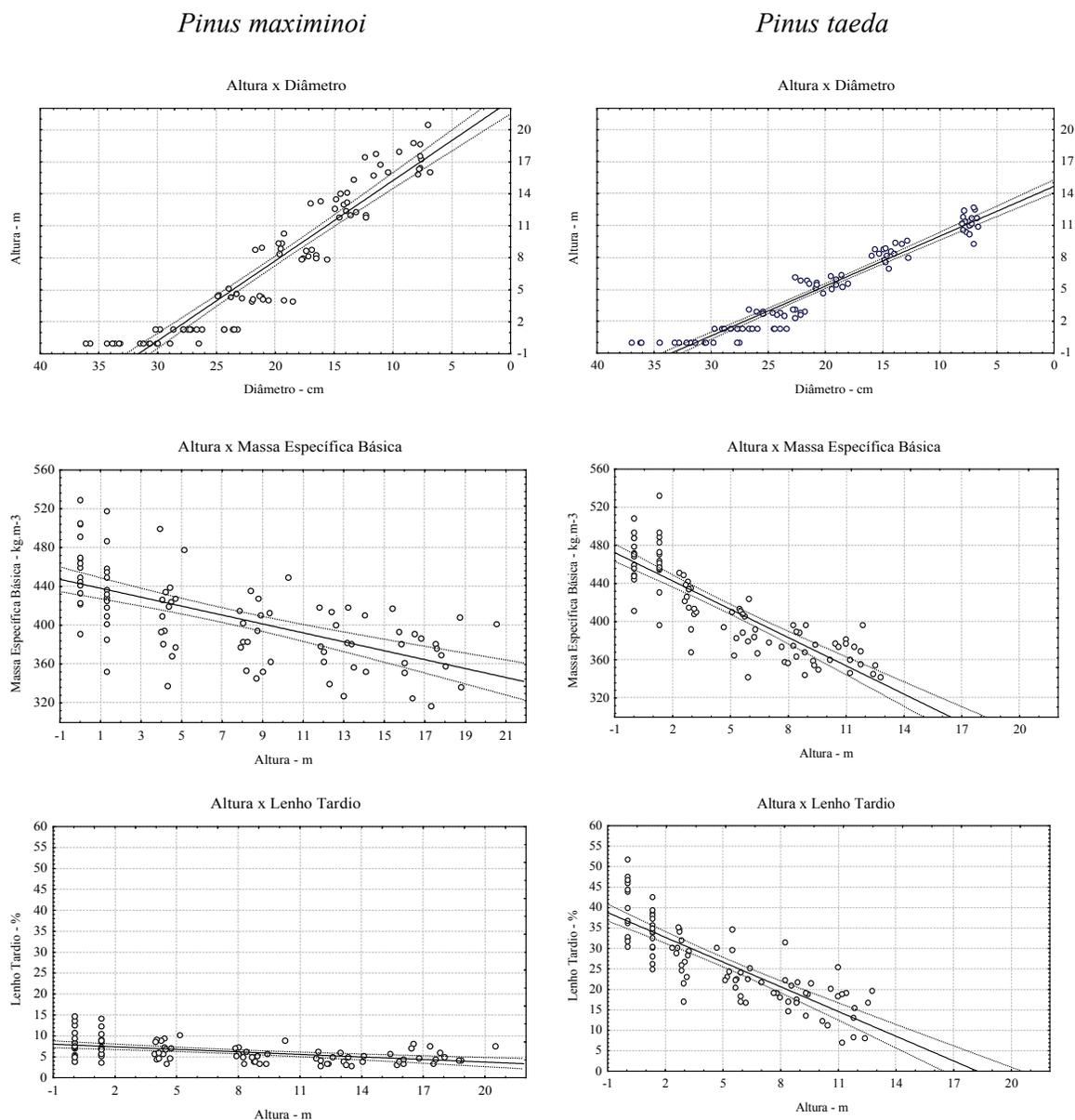


FIGURA 38 - REGRESSÕES LINEARES, A 95% PROBABILIDADE, DAS RELAÇÕES ENTRE ALTURA, DIÂMETRO COM CASCA, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

A Tabela 37, apresenta as equações lineares obtidas da análise de regressão e os respectivos coeficientes de correlação, a 95% de probabilidade, por análises realizadas para as duas espécies estudadas.

TABELA 37 - EQUAÇÕES LINEARES E CORRELAÇÕES DETERMINADAS ENTRE ALTURA E DIÂMETRO COM CASCA, COM A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*

<i>Pinus maximinoi</i>		<i>Pinus taeda</i>	
Equação	Correlação	Equação	Correlação
$\rho_b = 326,50 + 4,025 \times Dcc$	$r = 0,6915 *$	$\rho_b = 322,47 + 4,393 \times Dcc$	$r = 0,7796 *$
$LT = 2,901 + 0,1669 \times Dcc$	$r = 0,4986 *$	$LT = 7,552 + 0,927 \times Dcc$	$r = 0,7847 *$
$h = 22,728 - 0,750 \times Dcc$	$r = -0,9415 *$	$h = 14,659 - 0,4677 \times Dcc$	$r = -0,9639 *$
$\rho_b = 442,73 - 4,593 \times h$	$r = -0,6287 *$	$\rho_b = 462,60 - 9,888 \times h$	$r = -0,8514 *$
$LT = 7,807 - 0,202 \times h$	$r = -0,4810 *$	$LT = 36,769 - 2,015 \times h$	$r = -0,8276 *$

h = altura em metros

ρ_b = massa específica básica média em $kg.m^{-3}$

LT = lenho tardio em %.

Dcc = diâmetro com casca nas alturas relativas em cm.

* = correlação significativa a 95% de probabilidade

Analisando-se as Figuras 37 e 38, e a Tabela 37, pode-se comparar as diferentes distribuições e relações dos dados medidos e calculados para as duas espécies, entre a massa específica básica e os diâmetros com casca, o comportamento é similar para as duas espécies, porém com correlação superior para *Pinus taeda*. A porcentagem de lenho tardio em *Pinus taeda* correlaciona-se de forma similar a massa específica, o que se poderia esperar em razão da alta correlação entre estas características na madeira juvenil desta espécie, o contrário ocorre para *Pinus maximinoi*, a correlação é significativa, mas menos acentuada, o que também se poderia esperar em razão da baixa correlação entre estas características no *Pinus maximinoi*.

Observa-se alta correlação entre a altura e os diâmetros com casca para as duas espécies, o que é esperado pela diminuição gradativa dos diâmetros em altura, nota-se contudo a diferença na distribuição dos dados entre as espécies, como a maior altura para *Pinus maximinoi* com maior dispersão dos diâmetros.

Para a madeira de *Pinus maximinoi* em relação a altura, a massa específica básica e o lenho tardio correlacionam-se de forma menos intensa que a madeira juvenil de *Pinus taeda*, o que se esperava em razão da maior variação detectada para essas propriedades entre as

árvores amostradas de *Pinus maximinoi*, indicando também maior homogeneidade da madeira juvenil da espécie ao longo do fuste.

Observa-se a notável diferença entre as relações das porcentagens de lenho tardio com a altura, que se distribui de forma homogênea ao longo do fuste da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, comparada a *Pinus taeda*, que apresenta porcentagens altas nas alturas inferiores, que diminuem com o aumento em altura.

De forma geral, observa-se que a massa específica básica e a porcentagem de lenho tardio em *Pinus taeda*, se correlacionam fortemente com a altura na árvore confirmando as observações esperadas para muitas espécies do gênero, (COWN 1974; BENDTSEN & SENFT 1986).

Já, em *Pinus maximinoi*, observa-se correlações significativas, porém bem inferiores, o que indica que outros fatores devem influenciar a distribuição da porcentagem de lenho tardio e da massa específica ao longo do fuste.

A maior variação nas características e propriedades físicas determinadas ao longo do fuste para *Pinus maximinoi*, provavelmente esteja relacionada a variabilidade intra espécie, as condições de adaptação e o rápido crescimento das diversas procedências das árvores amostradas, o que certamente é uma forte razão para o acompanhamento da qualidade da madeira com o aumento da idade das árvores dessa espécie.

6.2.5 Retratibilidade da madeira juvenil

A seguir são apresentados os resultados médios obtidos para as propriedades de retratibilidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, obtidos das toras de madeira entre as alturas de 1,30 m (DAP) e 0,25 da altura comercial. Foram determinadas as contrações máximas volumétricas, as contrações máximas lineares tangencial, radial e longitudinal, a anisotropia de contração, os coeficientes de retratibilidade volumétrico e lineares tangencial e radial, bem como a massa específica básica, massa específica aparente, e porcentagem de lenho tardio dos corpos de prova testados.

Apresenta-se os resultados do teste da hipótese H_0 , de igualdade entre as propriedades para as espécies e entre árvores da mesma espécie, através de análise de variância, como também, as regressões lineares simples entre as propriedades de retratibilidade, com as massas específicas e porcentagem de lenho tardio, para as duas espécies estudadas.

A Tabela 38, apresenta os valores médios das contrações máximas volumétrica e lineares, anisotropia de contração, massa específica aparente a 12 % de umidade, massa específica básica e a porcentagem de lenho tardio, determinadas para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, juntamente com seus respectivos desvios padrões e coeficientes de variação.

A Tabela 39, apresenta os valores médios dos coeficientes de retratibilidade volumétricos e lineares tangencial e radial, da massa específica aparente e da porcentagem de lenho tardio, obtidos para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, juntamente com seus respectivos desvios padrões e coeficientes de variação.

TABELA 38 - RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, MASSAS ESPECÍFICAS APARENTE E BÁSICA, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*, 2000.

	βVol^1 (%)	βtang^2 (%)	βrad^3 (%)	βlong^4 (%)	$\beta\text{t}/\beta\text{r}^5$	$\rho_{\text{ap,m}}^6$ (kg.m ⁻³)	$\rho_{\text{b,m}}^7$ (kg.m ⁻³)	Lenho tardio (%)	N ⁸
<i>Pinus maximinoi</i>									
Média	9,08	6,06	2,92	0,39	2,21	471,1	400,8	11,94	240
Desvio padrão	1,93	1,32	0,946	0,235	0,54	65,83	53,19	4,61	
C.V. ⁹ (%)	21,3	21,8	32,4	60,3	24,3	14,0	13,3	38,6	
<i>Pinus taeda</i>									
Média	10,58	6,77	3,87	0,22	1,83	503,2	419,9	35,83	228
Desvio padrão	1,69	1,01	1,003	0,157	0,39	74,14	57,92	12,99	
C.V. ⁹ (%)	16,0	14,9	25,9	71,3	21,3	14,7	13,8	36,3	

¹ βVol = contração volumétrica em %.

² βtang = contração tangencial em %.

³ βrad = contração radial em %

⁴ βlong = contração longitudinal em %

⁵ $\beta\text{t}/\beta\text{r}$ = anisotropia de contração

⁶ $\rho_{\text{ap,m}}$ = massa específica aparente média a 12% de umidade em kg.m⁻³

⁷ $\rho_{\text{b,m}}$ = massa específica básica em kg.m⁻³

⁸N = número de amostras

⁹C.V. = coeficiente de variação.

TABELA 39 - RESULTADOS MÉDIOS DOS COEFICIENTES DE RETRATIBILIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE, PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*, E TEOR DE UMIDADE DOS CORPOS DE PROVA, 2000.

	Qvol ¹ (%/%)	Qtang ² (%/%)	Qrad ³ (%/%)	$\rho_{ap,m}$ ⁴ (kg.m ⁻³)	Lenho tardio (%)	Teor de umidade ⁷ (%)	N ⁵
<i>Pinus maximinoi</i>							
Média	0,387	0,240	0,131	471,1	11,94	11,8	240
Desvio padrão	0,142	0,0829	0,0516	65,83	4,61	0,30	
C.V. ⁶ (%)	36,7	34,5	39,4	14,0	38,6	2,54	
<i>Pinus taeda</i>							
Média	0,403	0,236	0,152	503,2	35,83	12,3	228
Desvio padrão	0,067	0,0359	0,0369	74,14	12,99	0,26	
C.V. ⁶ (%)	16,6	15,2	24,3	14,7	36,3	2,11	

¹Qvol = coeficiente de retratibilidade volumétrica em %/%

²Qtang = coeficiente de retratibilidade tangencial em %/%

³Qrad = coeficiente de retratibilidade radial em %/%

⁴ $\rho_{ap,m}$ = massa específica aparente média a 12% de umidade em kg.m⁻³

⁵ $\rho_{b,m}$ = massa específica básica em kg.m⁻³

⁶C.V. = coeficiente de variação

⁷Teor de umidade dos corpos de prova após acondicionamento em câmara climatizada em 20 ± 3 °C e 65 ± 2% de Umidade Relativa na realização das medições.

As Tabelas 40 e 41, apresentam os resumos das análises de variância realizados para as propriedades de retratibilidade, contrações máximas volumétrica e lineares, coeficientes de retratibilidade, massas específicas aparente e básica, e porcentagem de lenho tardio da madeira juvenil entre as espécies estudadas.

Analisando as Tabelas 38 a 41, observa-se que, comparando as contrações máximas médias (volumétrica, tangencial e radial) entre as espécies, as contrações da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresentam valores médios menores. Entre as espécies as diferenças são significativas estatisticamente, sendo os valores médios observados nas contrações da madeira juvenil de *Pinus taeda* numericamente superiores em 1,5% para a contração volumétrica máxima, em 0,71% na contração tangencial máxima, e em 0,95% na contração radial máxima. Já para a contração máxima longitudinal e anisotropia de contração da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, os valores são numericamente superiores em 0,19% e 0,38; diferenças também significativas, como pode ser observado na Tabela 40.

TABELA 40 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, MASSAS ESPECÍFICAS APARENTE E BÁSICA, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, ENTRE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*.

Propriedade	Quadrado Médio		F (1,466)	
	Espécie	Erro		
βVol^1	260,8	3,309	78,7918	**
βtang^2	59,6	1,394	42,7350	**
βrad^3	105,8	0,949	111,5065	**
βlong^4	1,0	0,040	25,1774	**
$\beta\text{t}/\beta\text{r}^5$	17,1	0,221	77,0821	**
Massa específica aparente	120382,0	4899,979	24,5679	**
Massa específica básica	42683,7	3085,236	13,8348	**
Lenho tardio	66722,9	93,093	716,7319	**

$F_{05}(1,446) = 3,86$

$F_{01}(1,446) = 6,70$

** = significativo a 99% de probabilidade

¹ βVol = contração volumétrica em %.

² βtang = contração tangencial em %.

³ βrad = contração radial em %

⁴ βlong = contração longitudinal em %

⁵ $\beta\text{t}/\beta\text{r}$ = anisotropia de contração

A diferença verificada entre as espécies provavelmente está relacionada as diferenças observadas na porcentagem de lenho tardio, em razão da diferença na geometria e proporção de parede celular nos traqueóides de lenhos inicial e tardio.

Vários autores como Vintila (1939), Nakato (1958) e Lahbabi (1995), citados por BOTOSSO (1997), demonstraram que as contrações são diferenciadas para os lenhos tardio e inicial isolados. O lenho tardio em razão de maior proporção de parede celular, e esta ser aproximadamente a mesma nos sentidos radial e tangencial, apresenta contrações elevadas e similares, de tal forma que a anisotropia de contração é geralmente baixa, próxima a 1,0. Já o lenho inicial isolado, apresenta contrações menores, porém diferenciadas no sentido tangencial e radial, de tal forma que a anisotropia de contração é geralmente alta.

Dessas observações pode-se inferir que, a baixa porcentagem de lenho tardio na madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, e a conseqüente maior homogeneidade, comparado ao

Pinus taeda, causam menores contrações tangencial e radial, porém com maior diferença entre ambas, o que causa anisotropia de contração mais elevada.

Em razão dos resultados apresentados, rejeita-se a hipótese de igualdade, havendo características diferentes com relação as propriedades de retratibilidade, entre as duas espécies. A madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, contrai menos em volume, bem como nas direções tangencial e radial, mas contrai mais na direção longitudinal, e apresenta anisotropia de contração (β_t/β_r) maior que a madeira juvenil de *Pinus taeda*.

As diferenças verificadas para a massa específica aparente, massa específica básica e porcentagem de lenho tardio entre as duas espécies (Tabelas 38 e 39), também são estatisticamente significativas, rejeitando-se também a hipótese de igualdade, considerando-se portanto que, os corpos de prova utilizados para a determinação da retratibilidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* em média apresentam menores massas específicas aparente e básica, e menor porcentagem de lenho tardio.

TABELA 41 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS COEFICIENTES DE RETRATIBILIDADE DA MADEIRA JUVENIL ENTRE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

Propriedade	Quadrado Médio		F (1,466)	
	Espécie	Erro		
¹ Qvol	0,0278	0,0125	2,2330	n.s.
² Qtang	0,0012	0,0042	0,2856	n.s.
³ Qrad	0,0508	0,0020	25,0689	**

$F_{05}(1,446) = 3,86$

$F_{01}(1,446) = 6,70$

n.s. = não significativo

** significativo a 99% de probabilidade

¹Qvol = coeficiente de retratibilidade volumétrica em %/%

²Qtang = coeficiente de retratibilidade tangencial em %/%

³Qrad = coeficiente de retratibilidade radial em %/%

Nota-se que os coeficientes de variação para as propriedades de contração são relativamente altos (Tabelas 38 e 39), no conjunto mais elevados para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, destacando-se os coeficientes de variação para a contração máxima longitudinal, bastante altos, de 60 e 71% respectivamente, para as duas espécies, mostrando a alta variabilidade da contração longitudinal na madeira juvenil. A dificuldade na

determinação da contração longitudinal e as diminutas mudanças nas dimensões longitudinais, que exigem alta acuracidade nas medições para se obter resultados precisos, são motivos pelos quais na prática a contração longitudinal é desconsiderada por muitos autores.

Comparando-se os valores médios obtidos para as propriedades de retratibilidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* nesse estudo, aos apresentados pelo CENTRO TÉCNICO DE EVALUACION FORESTAL (1972), para madeira de *Pinus maximinoi*, de árvores com idades entre 28 e 34 anos; (10,8% para a contração volumétrica máxima, 8,0% para a contração tangencial máxima; 3,8% para a contração radial máxima, 0,1% para a contração longitudinal, e para a anisotropia de contração de 2,146); verifica-se que a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* desse estudo apresenta contrações volumétricas e lineares inferiores; enquanto que a anisotropia é ligeiramente superior, estas diferenças possivelmente estejam relacionadas a idade das árvores amostradas naquele trabalho. A maior proporção de madeira adulta eleva as porcentagens de contrações máximas volumétrica e lineares e diminui a anisotropia de contração, podendo-se esperar que com o aumento de idade para a espécie, a anisotropia de contração tende a decrescer.

Esta tendência foi observada por TOMASELLI (1980); CHOONG et al (1989); KLOCK (1989) e MUÑIZ (1993), em espécies do gênero *Pinus*, nas quais a madeira juvenil apresenta contrações menores que madeira adulta, com exceção da contração longitudinal, para a qual ocorre o contrário, e maior anisotropia de contração..

A madeira juvenil de *Pinus taeda* desse estudo, apresenta valores médios superiores para as contrações volumétrica e lineares tangencial e radial, e inferiores na contração longitudinal e anisotropia de contração, quando comparado aos resultados obtidos por MUÑIZ (1993), para a madeira juvenil de *Pinus taeda*, em árvores de 30 anos, (9,30% para a contração máxima volumétrica; 5,89% para a contração máxima tangencial, 3,01% para a contração máxima radial, 0,32% para a contração máxima longitudinal, e 1,95 para a anisotropia de contração; com massa específica aparente média de 456 kg.m^{-3}).

As diferenças observadas, foram provavelmente originadas na amostragem, já que os corpos de prova desse trabalho foram confeccionados abrangendo toda a extensão da madeira na direção medula-casca, enquanto que no trabalho de MUÑIZ, o lenho juvenil foi separado do adulto, o que pode ter contribuído para que os corpos de prova utilizados nas determinações fossem confeccionados em maior número com a madeira mais próxima a medula, conseqüentemente reduzindo os valores médios de contração. Os resultados no

entanto são similares aos de *Pinus maximinoi*, com exceção da anisotropia de contração que é inferior.

Comparando-se os resultados das contrações máximas da madeira juvenil determinados para *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda* com os apresentados por TOMASELLI (1980), para a madeira juvenil separada da madeira adulta de árvores de 18 anos, de *Pinus taeda*, *Pinus elliotti* e *Araucaria angustifolia*, com exceção das contrações da madeira de Araucária, os resultados para *Pinus taeda* são similares aos desse estudo, e os de *Pinus maximinoi* assemelham-se aos de *Pinus elliottii* exceto na contração radial que é inferior na madeira de *Pinus maximinoi*.

As contrações máximas volumétrica, tangencial e radial, para ambas as espécies desse estudo, são inferiores aos determinados para a madeira adulta de espécies do gênero *Pinus*, de maior massa específica, como os observados por BORTOLETTO JÚNIOR (1999), para a madeira adulta de *Pinus taeda*, (tratamento testemunha, de 10 árvores com 23 anos de idade, da região de Guarapuava-PR, com massa específica aparente média de 580 kg.m^{-3}), que foram de 12,4%, 7,66% e 4,95%, para as contrações volumétrica, tangencial e radial, respectivamente. Enquanto o contrário acontece para a anisotropia de contração, que é superior as de madeira adulta.

CHOONG et al. (1989), confirmando observações de vários pesquisadores, afirma que as contrações volumétrica e lineares, tangencial e radial são baixas na madeira juvenil de espécies do gênero *Pinus*, enquanto que a contração longitudinal e a anisotropia de contração são elevados, ocorrendo diminuição destas com o aumento da idade e a elevação das contrações volumétrica, tangencial e radial. De acordo com esta afirmação, pode-se esperar que a madeira das duas espécies estudadas tendem a apresentar contrações superiores com o aumento da idade da madeira, porém com menor anisotropia de contração.

As diferenças verificadas entre as contrações máximas volumétrica, e lineares tangencial e radial entre *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda* estão provavelmente relacionadas à diferença entre as massas específicas médias da madeira entre as espécies, bem como da diferença na proporção de lenho tardio, por sua vez relacionadas com as diferenças entre as características anatômicas da madeira.

De acordo com os resultados apresentados no item 6.1., a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresenta em média traqueóides mais longos, com maiores diâmetros, menor proporção de traqueóides de lenho tardio, o que contribui para a menor massa específica, por

outro lado os traqueóides de lenho inicial apresentam paredes mais espessas que os de *Pinus taeda*, e desta forma com menor diferença com os de lenho tardio, por consequência no conjunto tem-se na madeira juvenil de *Pinus maximinoi* maior homogeneidade.

Os coeficientes médios de retratibilidade volumétrico e tangencial para a madeira juvenil, obtidos nesse estudo não apresentam diferença estatística entre as duas espécies, enquanto que o coeficiente de retratibilidade radial apresenta-se com diferença significativa entre as espécies, sendo maior para a madeira juvenil de *Pinus taeda*. Aceita-se portanto a hipótese de igualdade para os coeficientes médios de retratibilidade volumétrico e tangencial, e rejeita-se para o radial.

Os valores dos coeficientes de retratibilidade desse estudo são semelhantes aos apresentados na literatura para espécies do gênero *Pinus*, para madeira juvenil de espécies do gênero (KLOCK, 1989 e MUÑIZ, 1993).

A Tabela 42, apresenta os resultados médios das propriedades de contração máxima volumétrica, e lineares tangencial, radial e longitudinal; anisotropia de contração, além da massa específica aparente, massa específica básica e porcentagem de lenho tardio obtidos nos corpos de prova por árvore amostrada de *Pinus maximinoi*.

Analisando-se os resultados, nota-se que, entre as árvores de *Pinus maximinoi*, os valores médios de contração máxima volumétrica variam de 5,82 a 10,44%, sendo o valor médio mínimo para as amostras extraídas da árvore 4, que apresenta também a menor contração máxima tangencial de 3,92%, radial de 1,26%, a maior contração longitudinal e a maior anisotropia de contração de 3,22, bem superior ao das outras árvores, que por sua vez variaram de 1,65 a 2,47.

É interessante notar que a massa específica aparente média para os corpos de prova da árvore 4, apresentaram a menor média, de $393,4 \text{ kg.m}^{-3}$, o que indica que a massa específica influencia as propriedades de retratibilidade, já que ao observarmos a amostra 9, que apresenta massa específica aparente de $506,9 \text{ kg.m}^{-3}$, observa-se anisotropia de contração de apenas 1,65; e contrações bastante superiores as da amostra 4. Destacam-se estas amostras para se exemplificar a alta variabilidade intra árvores de *Pinus maximinoi*, o que indica boa possibilidade de melhoramento genético para a espécie.

TABELA 42 - RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, MASSAS ESPECÍFICAS APARENTE E BÁSICA E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, POR ÁRVORES DE *Pinus maximinoi* AMOSTRADAS., 2000.

Árvore	βVol^1 (%)	βtang^2 (%)	βrad^3 (%)	βlong^4 (%)	$\beta\text{t}/\beta\text{r}^5$	$\rho_{\text{ap,m}}^6$ (kg.m^{-3})	$\rho_{\text{b,m}}^7$ (kg.m^{-3})	Lenho tardio (%)	N ⁸
1	9,30	6,37	2,83	0,33	2,35	499,5	426,0	14,35	15
2	10,37	7,16	3,23	0,24	2,33	508,3	431,2	12,79	14
3	8,01	5,02	2,74	0,43	2,02	492,5	422,0	9,73	18
4	5,82	3,92	1,26	0,73	3,22	393,4	341,7	10,45	15
5	9,91	6,81	3,16	0,17	2,16	494,1	418,7	11,69	16
6	9,92	6,70	3,18	0,28	2,16	525,5	445,0	12,17	16
7	8,99	6,07	2,76	0,37	2,30	439,5	374,3	11,23	16
8	9,04	6,33	2,62	0,29	2,47	419,9	358,1	8,90	16
9	10,29	6,42	3,93	0,22	1,65	506,9	427,8	14,29	10
10	9,19	6,08	2,99	0,34	2,09	460,4	390,8	14,37	20
11	7,35	4,89	2,27	0,34	2,44	399,2	343,7	7,96	16
12	9,39	6,36	3,03	0,20	2,11	446,9	378,7	13,87	14
13	10,44	6,82	3,65	0,24	1,88	492,2	413,5	12,72	16
14	8,27	5,54	2,59	0,31	2,24	424,4	362,7	14,63	16
15	10,13	6,57	3,59	0,24	1,83	547,3	463,5	11,16	22
Geral	9,08	6,06	2,92	0,315	2,21	471,1	400,8	11,9	240

¹ βVol = contração volumétrica em %.

² βtang = contração tangencial em %.

³ βrad = contração radial em %

⁴ βlong = contração longitudinal em %

⁵ $\beta\text{t}/\beta\text{r}$ = anisotropia de contração

⁶ $\rho_{\text{ap,m}}$ = massa específica aparente média a 12% de umidade em kg.m^{-3}

⁷ $\rho_{\text{b,m}}$ = massa específica básica em kg.m^{-3}

⁸N = número de amostras

Entre as massas específicas, básica e aparente, nos corpos de prova, as variações observadas (13,3 e 14,0%) são superiores ao observado na média ponderada da massa específica entre as árvores amostradas, o incremento na variação para as duas espécies demonstra a variação na madeira juvenil dentro das árvores. O valor médio da massa específica básica para os corpos de prova de retratibilidade ($400,8 \text{ kg.m}^{-3}$) da madeira de *Pinus maximinoi* é menor que o determinado para a média ponderada das árvores amostradas

(409 kg.m⁻³) provavelmente também em função da variação da massa específica na madeira juvenil, e também devido aos corpos de prova terem sido extraídos das toras localizadas entre as alturas de 1,30 m e 0,25 da altura comercial.

O contrário ocorreu com a porcentagem média de lenho tardio, que foi superior para a madeira de *Pinus maximinoi* (11,9%), possivelmente pela posição de coleta das amostras (corpos de prova) e pela própria variação dentro da madeira.

TABELA 43 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, MASSAS ESPECÍFICAS APARENTE E BÁSICA, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi*.

Propriedade	Quadrado Médio	Quadrado Médio	F	
	Árvores	Erro	(14,225)	
βVol^1	25,38	2,383	10,64932	**
βtang^2	11,97	1,116	10,72879	**
βrad^3	6,08	0,572	10,62765	**
βlong^4	0,27	0,042	6,46814	**
$\beta\text{t}/\beta\text{r}^5$	1,93	0,185	10,44779	**
Massa específica aparente	37127,62	2293,152	16,19065	**
Massa específica básica	24315,81	1492,239	16,29486	**
Lenho tardio	71,04	18,146	3,91496	**

$F_{05}(14,225) = 1,74$

$F_{01}(14,225) = 2,17$

n.s. = não significativo

** = significativo a 99% de probabilidade

¹ βVol = contração volumétrica em %.

² βtang = contração tangencial em %.

³ βrad = contração radial em %

⁴ βlong = contração longitudinal em %

⁵ $\beta\text{t}/\beta\text{r}$ = anisotropia de contração

A análise de variância para as propriedades de retração, as massas específicas e as porcentagens de lenho tardio entre as árvores amostradas de *Pinus maximinoi* são todas significativas, confirmando a alta variabilidade destas propriedades e características na madeira juvenil de *Pinus maximinoi*.

TABELA 44 - RESULTADOS MÉDIOS DOS COEFICIENTES DE RETRATIBILIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12%, PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi*, 2000.

Árvore	QVOL ¹ (%/%)	QTANG ² (%/%)	QRAD ³ (%/%)	$\rho_{ap,m}$ ⁴ (kg.m ⁻³)	Lenho tardio (%)	N ⁵
1	0,427	0,266	0,143	499,5	14,35	15
2	0,479	0,296	0,165	508,3	12,79	14
3	0,334	0,196	0,114	492,5	9,73	18
4	0,149	0,112	0,032	393,4	10,45	15
5	0,433	0,274	0,145	494,1	11,69	16
6	0,440	0,278	0,146	525,5	12,17	16
7	0,393	0,246	0,125	439,5	11,23	16
8	0,394	0,256	0,119	419,9	8,90	16
9	0,432	0,247	0,169	506,9	14,29	10
10	0,385	0,236	0,129	460,4	14,37	20
11	0,330	0,202	0,111	399,2	7,96	16
12	0,393	0,246	0,133	446,9	13,87	14
13	0,411	0,240	0,155	492,2	12,72	16
14	0,357	0,224	0,117	424,4	14,63	16
15	0,452	0,272	0,163	547,3	11,16	22
Geral	0,387	0,240	0,131	471,1	11,94	240

¹Qvol = coeficiente de retratibilidade volumétrica em %/%

²Qtang = coeficiente de retratibilidade tangencial em %/%

³Qrad = coeficiente de retratibilidade radial em %/%

⁴ $\rho_{ap,m}$ = massa específica aparente média a 12% de umidade em kg.m⁻³

⁵N = número de amostras.

Os coeficientes médios de retratibilidade por árvore amostrada de *Pinus maximinoi* são apresentados na Tabela 44, e como esperado, apresentam variação entre árvores estatisticamente significativas como pode ser observado na Tabela 45, com mesma tendência observada para as contrações, o que implica em baixa precisão na estimativa das contrações parciais da madeira juvenil, pela alta variação desta.

TABELA 45 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS COEFICIENTES DE RETRATIBILIDADE DA MADEIRA JUVENIL ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi*.

Propriedade	Quadrado Médio		F (1,225)	
	Árvore	Erro		
Qvol ¹	0,0939	0,015	6,06105	**
Qtang ²	0,0310	0,005	5,76063	**
Qrad ³	0,0169	0,002	9,53152	**

F₀₅ (14,225) = 1,74

F₀₁ (14,225) = 2,17

n.s. = não significativo

** significativo a 99% de probabilidade

¹Qvol = coeficiente de retratibilidade volumétrica em %/%

²Qtang = coeficiente de retratibilidade tangencial em %/%

³Qrad = coeficiente de retratibilidade radial em %/%

A Tabela 46 , apresenta os valores médios para as propriedades de retração entre as árvores de *Pinus taeda*, observa-se que, a variação das médias de contrações máximas volumétricas (9,17 a 12,40%) tem amplitude menor, comparada as de *Pinus maximinoi*, ocorrendo o mesmo para as contrações máximas lineares tangencial e radial.

A anisotropia de contração apresenta alto coeficiente de variação, superior a 20% (1,58 a 2,40), (Tabela 39), sendo que todas as propriedades entre as árvores amostradas, assim como na madeira de *Pinus maximinoi*, apresentam diferenças significativas (Tabela 47), o que confirma as variações entre as propriedades de retratibilidade também na madeira juvenil de *Pinus taeda*, porém de forma menos acentuada, como pode ser verificado pelos menores valores do comparador F calculado, na análise de variância, em relação aos observados para *Pinus maximinoi*.

TABELA 46 - RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, MASSAS ESPECÍFICAS APARENTE E BÁSICA, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, POR ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus taeda*, 2000.

Árvore	βVol^1 (%)	βtang^2 (%)	βrad^3 (%)	βlong^4 (%)	$\beta\text{t}/\beta\text{r}^5$	$\rho_{\text{ap,m}}^6$ (kg.m^{-3})	$\rho_{\text{b,m}}^7$ (kg.m^{-3})	Lenho tardio (%)	N ⁸
1	10,90	7,12	3,93	0,147	1,87	512,9	426,6	37,32	19
2	11,14	7,03	4,17	0,269	1,73	506,1	419,4	43,63	11
3	9,93	6,17	3,90	0,102	1,58	490,4	411,3	29,71	14
4	11,16	7,23	4,05	0,193	1,89	516,3	428,0	38,72	9
5	9,81	6,10	3,66	0,308	1,69	486,0	407,3	30,06	13
6	9,70	6,77	2,86	0,283	2,40	427,6	359,1	24,51	16
7	10,07	6,12	3,92	0,297	1,59	502,1	419,7	32,35	22
8	9,17	6,33	2,88	0,163	2,29	442,4	374,1	21,67	14
9	10,33	6,69	3,61	0,308	1,93	484,8	406,0	40,49	16
10	9,89	6,10	3,78	0,274	1,64	510,9	429,8	43,56	15
11	11,68	7,22	4,61	0,213	1,59	573,9	476,1	48,28	14
12	10,75	7,36	3,47	0,218	2,24	494,5	413,9	35,19	12
13	10,38	6,59	3,88	0,196	1,74	505,6	423,8	32,00	18
14	12,40	7,69	4,98	0,132	1,58	577,9	475,7	41,17	16
15	11,48	7,37	4,23	0,221	1,85	514,1	425,7	41,19	19
Geral	10,58	6,77	3,87	0,223	1,83	503,2	419,9	35,83	228

¹ βVol = contração volumétrica em %.

² βtang = contração tangencial em %.

³ βrad = contração radial em %

⁴ βlong = contração longitudinal em %

⁵ $\beta\text{t}/\beta\text{r}$ = anisotropia de contração

⁶ $\rho_{\text{ap,m}}$ = massa específica aparente média a 12% de umidade em kg.m^{-3}

⁷ $\rho_{\text{b,m}}$ = massa específica básica em kg.m^{-3}

⁸N = número de amostras

TABELA 47 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, MASSAS ESPECÍFICAS APARENTE E BÁSICA, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus taeda*.

Propriedade	Quadrado Médio		F (14,213)	
	Árvore	Erro		
βVol^1	11,59	2,293	5,05531	**
βtang^2	4,47	0,790	5,65093	**
βrad^3	4,64	0,767	6,05263	**
βlong^4	0,07	0,022	3,19296	**
$\beta\text{t}/\beta\text{r}^4$	1,10	0,090	12,23196	**
Massa específica aparente	22985,08	4346,731	5,28790	**
Massa específica básica	13779,58	2669,629	5,16161	**
Lenho tardio	825,23	125,591	6,57076	**

$F_{05}(14,213) = 1,74$

$F_{01}(14,213) = 2,17$

n.s. = não significativo

** = significativo a 99% de probabilidade

¹ βVol = contração volumétrica em %.

² βtang = contração tangencial em %.

³ βrad = contração radial em %

⁴ βlong = contração longitudinal em %

⁵ $\beta\text{t}/\beta\text{r}$ = anisotropia de contração

Os coeficientes médios de retratibilidade volumétrico, e lineares, tangencial e radial, por árvore amostrada para a madeira juvenil de *Pinus taeda* são apresentados na Tabela 48.

Observa-se na Tabela 49, os resumos das análises de variância, na qual observa-se também, diferenças estatisticamente significativas entre as árvores de *Pinus taeda* amostradas, e seguem a mesma tendência das contrações.

De acordo com os resultados determinados para as propriedades de retratibilidade para as duas espécies, nota-se a alta variação existente na madeira juvenil entre espécies e intra espécies, características na madeira juvenil de espécies do gênero *Pinus*, que porém afetam de forma relevante a qualidade da madeira das árvores de rápido crescimento, provocando o aparecimento de defeitos na secagem e problemas nos produtos colados com madeira juvenil. A partir da constatação da alta variação que ocorre, provavelmente as propriedades de retração na madeira juvenil podem servir como parâmetros de melhoramento genético, até

mesmo em razão da tendência bem definida do comportamento destas propriedades com o aumento da idade na madeira.

TABELA 48 - RESULTADOS MÉDIOS DOS COEFICIENTES DE RETRATIBILIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL, ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus taeda*, 2000.

Árvore	QVOL ¹ (%/%)	QTANG ² (%/%)	QRAD ³ (%/%)	$\rho_{ap,m}$ ⁴ (kg.m ⁻³)	Lenho tardio (%)	N ⁵
1	0,406	0,243	0,152	512,9	37,32	19
2	0,406	0,235	0,155	506,1	43,63	11
3	0,372	0,213	0,150	490,4	29,71	14
4	0,404	0,240	0,150	516,3	38,72	9
5	0,370	0,214	0,140	486,0	30,06	13
6	0,369	0,236	0,115	427,6	24,51	16
7	0,365	0,201	0,146	502,1	32,35	22
8	0,363	0,242	0,122	442,4	21,67	14
9	0,396	0,229	0,146	484,8	40,49	16
10	0,402	0,225	0,159	510,9	43,56	15
11	0,459	0,261	0,183	573,9	48,28	14
12	0,433	0,267	0,150	494,5	35,19	12
13	0,415	0,242	0,158	505,6	32,00	18
14	0,460	0,260	0,188	577,9	41,17	16
15	0,429	0,250	0,162	514,1	41,19	19
Geral	0,403	0,236	0,152	503,2	35,83	228

¹Qvol = coeficiente de retratibilidade volumétrica em %/%

²Qtang = coeficiente de retratibilidade tangencial em %/%

³Qrad = coeficiente de retratibilidade radial em %/%

⁴ $\rho_{ap,m}$ = massa específica aparente média a 12% de umidade em kg.m⁻³

⁵N = número de amostras

TABELA 49 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS COEFICIENTES DE RETRATIBILIDADE DA MADEIRA JUVENIL ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus taeda*.

Propriedade	Quadrado Médio		F (14,213)	
	Árvore	Erro		
Qvol ¹	0,01585	0,003707	4,2762	**
Qtang ²	0,00560	0,001004	5,5784	**
Qrad ³	0,00538	0,001100	4,8852	**

$F_{05}(14,213) = 1,74$

$F_{01}(14,213) = 2,17$

** significativo a 99% de probabilidade

¹Qvol = coeficiente de retratibilidade volumétrica em %/%

²Qtang = coeficiente de retratibilidade tangencial em %/%

³Qrad = coeficiente de retratibilidade radial em %/%

6.2.6 Correlações entre as propriedades de retratibilidade da madeira juvenil com a massa específica e porcentagem de lenho tardio.

As Figuras 39 a 41, apresentam as regressões lineares simples, a 95% de probabilidade, realizadas entre as propriedades de retratibilidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda* com a massa específica aparente a 12% de umidade e a porcentagem de lenho tardio. Os dados foram plotados com as mesmas escalas entre as propriedades das duas espécies, de tal forma que permitam visualizar a amplitude de distribuição dos dados para cada espécie, e da diferença entre as espécies.

Observa-se na Figura 39 e na Tabela 50, que nas relações das contrações máximas com a massa específica aparente da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, as distribuições dos pontos são semelhantes, resultando em coeficientes de correlação próximos de 0,68 para a volumétrica, 0,61 para a tangencial e 0,64 para a radial, demonstrando que a massa específica influencia de forma similar as contrações na madeira juvenil de *Pinus maximinoi*.

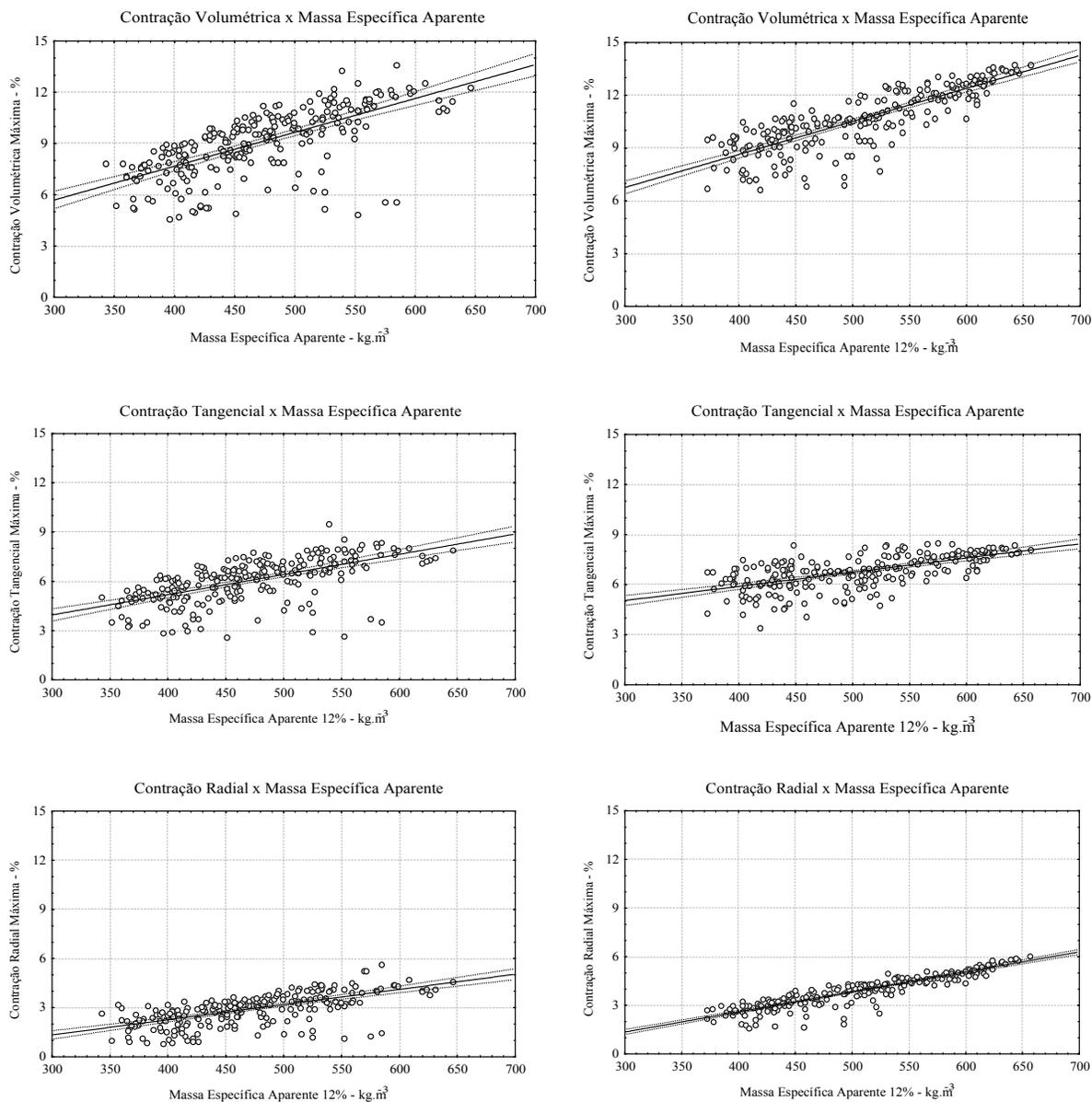
*Pinus maximinoi**Pinus taeda*

FIGURA 39 - REGRESSÕES LINEARES, A 95% DE PROBABILIDADE, ENTRE AS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, CONTRAÇÕES MÁXIMAS VOLUMÉTRICA E LINEARES, COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

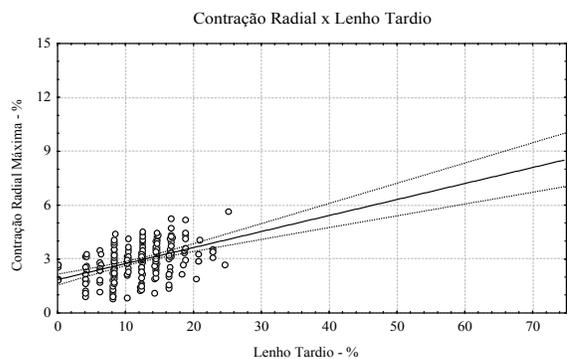
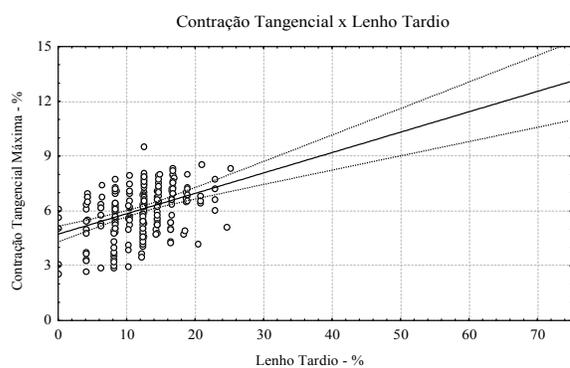
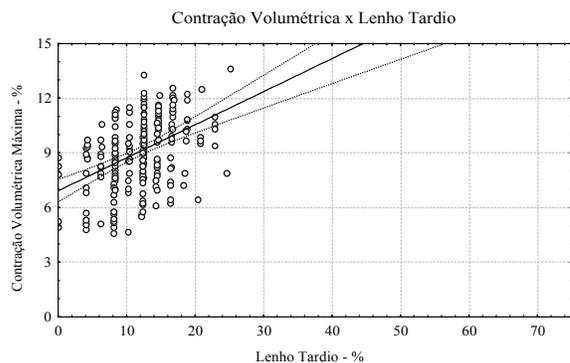
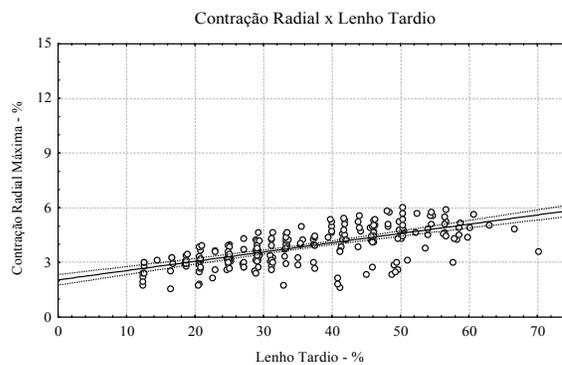
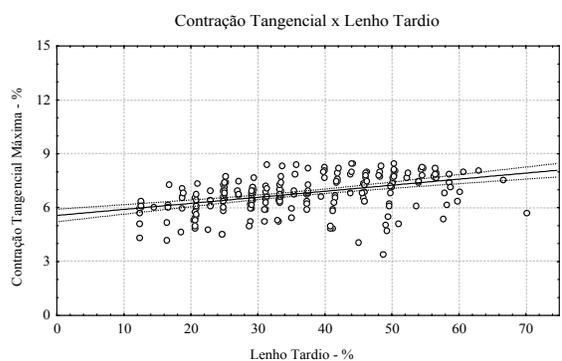
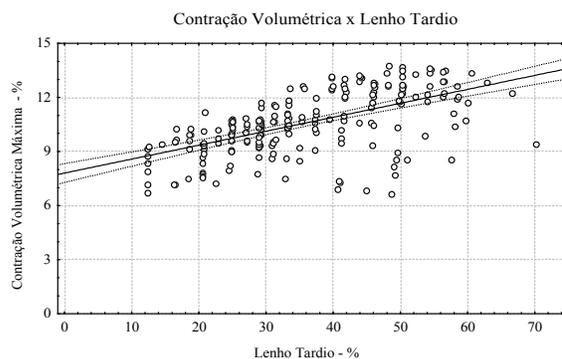
Pinus maximinoi*Pinus taeda*

FIGURA 40 - REGRESSÕES LINEARES, A 95% DE PROBABILIDADE, ENTRE AS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE, CONTRAÇÕES MÁXIMAS VOLUMÉTRICA E LINEARES COM A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

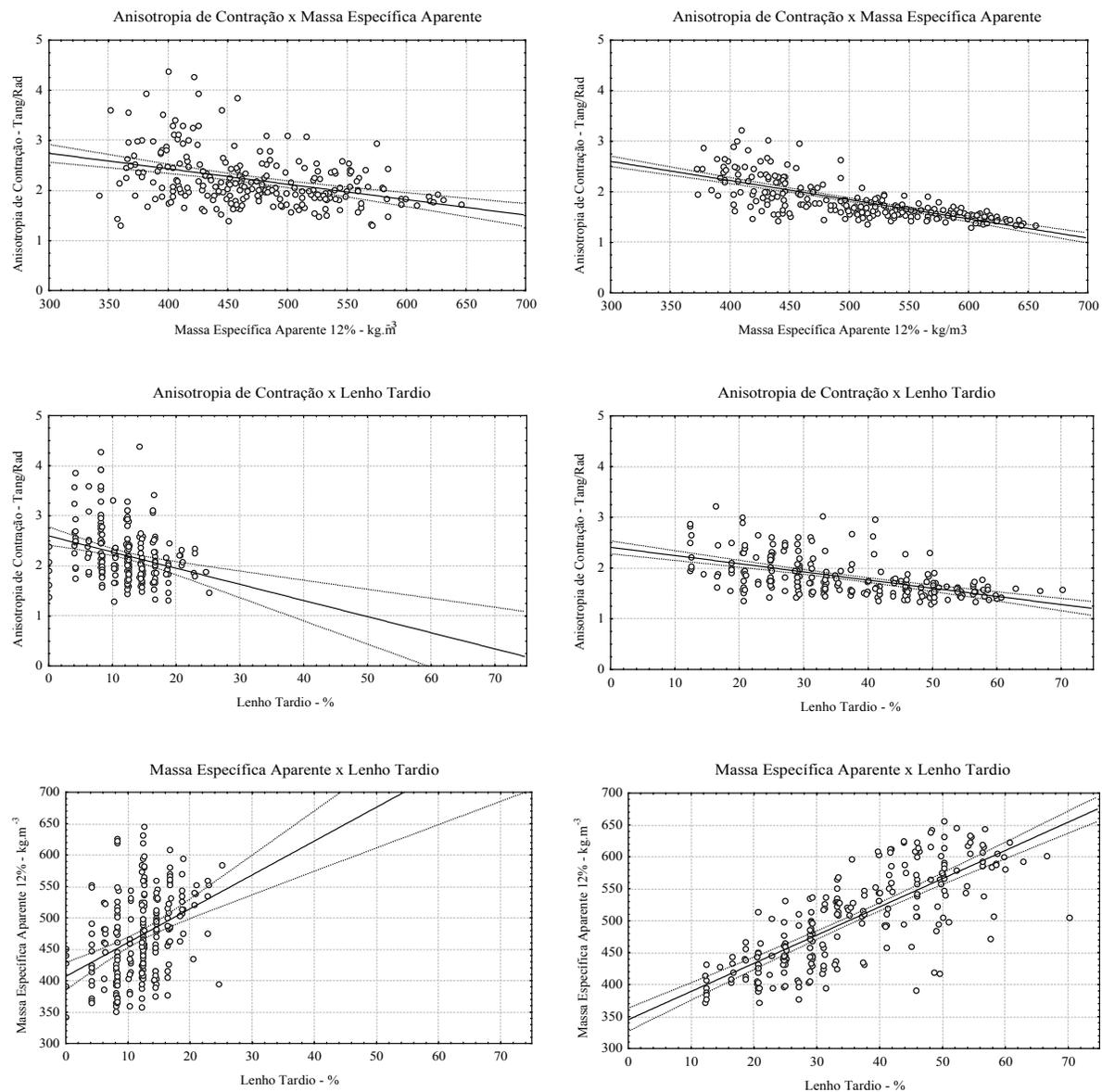
*Pinus maximinoi**Pinus taeda*

FIGURA 41 - REGRESSÕES LINEARES, A 95% DE PROBABILIDADE, ENTRE ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E COM A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

A Tabela 50 , apresenta as equações lineares obtidas pelas regressões e os respectivos coeficientes de correlação.

TABELA 50 - EQUAÇÕES LINEARES E CORRELAÇÕES DETERMINADAS ENTRE AS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE, E COM A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

<i>Pinus maximinoi</i>		<i>Pinus taeda</i>	
Equação	Correlação	Equação	Correlação
$\beta_{vol} = -0,2482 + 0,01981 \times \rho_{ap12}$	$r = 0,6750 *$	$\beta_{vol} = 1,1301 + 0,01877 \times \rho_{ap12}$	$r = 0,8220 *$
$\beta_{tang} = ,26807 + 0,0123 \times \rho_{ap12}$	$r = 0,6117 *$	$\beta_{tang} = 2,5012 + 0,0085 \times \rho_{ap12}$	$r = 0,6243 *$
$\beta_{rad} = -1,449 + 0,00927 \times \rho_{ap12}$	$r = 0,6451 *$	$\beta_{rad} = -2,344 + 0,01235 \times \rho_{ap12}$	$r = 0,9126 *$
$\beta_t/\beta_r = 3,6658 - 0,0031 \times \rho_{ap12}$	$r = -0,3786 *$	$\beta_t/\beta_r = 3,7380 - 0,0038 \times \rho_{ap12}$	$r = -0,7210 *$
$\beta_{vol} = 6,9181 + ,18129 \times LT$	$r = 0,43262*$	$\beta_{vol} = 7,8049 + 0,07734 \times LT$	$r = 0,5934 *$
$\beta_{tang} = 4,7285 + 0,11163 \times LT$	$r = 0,3888 *$	$\beta_{tang} = 5,5676 + 0,03370 \times LT$	$r = 0,4340 *$
$\beta_{rad} = 1,8541 + 0,08911 \times LT$	$r = 0,4342 *$	$\beta_{rad} = 2,0466 + 0,05087 \times LT$	$r = 0,6588 *$
$\beta_t/\beta_r = 2,5976 - 0,0322 \times LT$	$r = -0,2769 *$	$\beta_t/\beta_r = 2,4070 - 0,0161 \times LT$	$r = -0,536 *$
$\rho_{ap12} = 406,80 + 5,3869 \times LT$	$r = 0,3772 *$	$\rho_{ap12} = 344,93 + 4,4175 \times LT$	$r = 0,7740 *$
$\beta_{Vol} =$ contração volumétrica em %.		$\beta_{tang} =$ contração tangencial em %.	
$\beta_{rad} =$ contração radial em %		$\beta_{long} =$ contração longitudinal em %	
$\beta_t/\beta_r =$ anisotropia de contração			
$\rho_{ap,m} =$ massa específica aparente média a 12% de umidade em $kg.m^{-3}$			

Ao se observar as relações entre as contrações e a massa específica aparente da madeira juvenil de *Pinus taeda* , nota-se correlações estreitas para a contração volumétrica máxima (0,82) e ainda mais estreita no sentido radial (0,91). A contração tangencial máxima correlaciona-se de forma menos intensa à massa específica, sendo o coeficiente de correlação de 0,62. Estes resultados indicam que a contração radial máxima na madeira juvenil de *Pinus taeda* é direta e fortemente influenciado pela massa específica.

Esta tendência foi observada por Nepveu et al. (1988) e Mazet & Nepveu (1991), citados por BOTOSSO (1997), que observaram ser a contração radial melhor explicada pela massa específica do que a contração tangencial, dentro da espécie.

Já as regressões lineares entre as contrações máximas volumétricas e as contrações máximas tangenciais e radiais com a porcentagem de lenho tardio, embora estatisticamente

significativas, apresentam correlações relativamente baixas para as duas espécies: de 0,39 (tangencial) a 0,43 (radial) em *Pinus maximinoi*; e mais altas para *Pinus taeda*, 0,43 (tangencial) e 0,65 (radial), demonstrando que a porcentagem de lenho tardio por si, exerce influência nas contrações, porém de forma menos acentuada que a massa específica.

A anisotropia de contração e a massa específica correlacionam-se de forma inversa, sendo a correlação na madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, relativamente baixa (-0,37) embora estatisticamente significativa.

A madeira juvenil de *Pinus taeda* apresenta alta correlação entre a anisotropia de contração e a massa específica (- 0,72) indicando também que a anisotropia é fortemente influenciada pela massa específica.

MUÑIZ (1993), correlacionando a massa específica da madeira de *Pinus taeda* e de *Pinus elliotti*, de árvores com 30 anos, com a anisotropia de contração observou coeficientes de correlação inversos de -0,70 e de -0,72 respectivamente para as duas espécies resultados coincidentes com a correlação observada nesse estudo para a madeira juvenil de *Pinus taeda*, confirmando a influência da porcentagem de lenho tardio na madeira juvenil desta espécie, o é esperado em razão das altas correlações que ocorrem com as contrações tangencial e radial.

É interessante observar na Figura 41, a tendência de melhor correlação para os corpos de prova de maior massa específica para as duas espécies, porém de forma mais acentuada para *Pinus taeda*, enquanto ocorre forte dispersão na relação da anisotropia e as massas específicas mais baixas, mostrando de forma clara que maior a massa específica na madeira, ter-se-á anisotropia de contração mais baixa, o que é esperado de forma geral com o aumento da idade da madeira.

A correlação inversa entre a anisotropia de contração e a massa específica foi observada por vários autores para a madeira de coníferas, entre estes KOLLMANN (1951), BOUTELJE (1962), KELSEY (1963), KLOCK (1989) e MUÑIZ (1993).

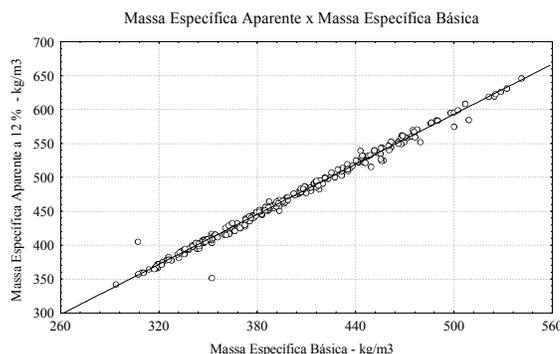
Quando considerada a relação entre a anisotropia de contração e a porcentagem de lenho tardio, observa-se maior dispersão dos dados plotados, que se traduz em correlações inversas mais baixas, embora também estatisticamente significativas, de apenas -0,27 para *Pinus maximinoi* e -0,57 para *Pinus taeda*, o que indica que a anisotropia de contração é menos influenciada pela porcentagem de lenho tardio na madeira juvenil do que pela massa específica.

Pode-se perceber também a tendência de melhor correlação entre a anisotropia de contração e as porcentagens de lenho tardio mais altas, de forma mais pronunciada para *Pinus taeda*, o que é ocasionado pela maior correlação entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio nesta espécie, que é de 0,77. Enquanto que, em *Pinus maximinoi* correlaciona-se de forma relativamente fraca (0,38), provavelmente em virtude das altas variações entre as porcentagens de lenho tardio e as contrações tangenciais e radiais entre as amostras.

De forma geral, é interessante observar a distribuição dos dados nos gráficos entre as duas espécies, que permite visualizar notáveis diferenças entre algumas características, especialmente a porcentagem de lenho tardio, que por ser baixa em *Pinus maximinoi*, concentra-se a esquerda dos gráficos. Pode-se perceber também, claramente a maior dispersão dos dados para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi*.

6.2.6.1 Equação linear simples para estimativa da massa específica aparente a 12% de umidade

As relações entre a massa específica aparente, aos teores de umidade determinados após acondicionamento dos corpos de prova, que foram em média de 11,8% para *Pinus maximinoi* e de 12,2% para *Pinus taeda*, com a massa específica básica, para a madeira juvenil das duas espécies é apresentada na Figura 51. Pode-se notar a alta correlação entre ambas, para as duas espécies, muito próximas a 1. As equações obtidas para se estimar a massa específica aparente a 12 % de umidade podem ser de grande utilidade por ser a massa específica básica determinada de forma mais rápida, não sendo necessário o acondicionamento da madeira, que exige local com condições ambientais controladas e tempo para o seu acondicionamento.

Pinus maximinoi

$$\rho_{ap12} = -22,26 + 1,2309 \times \rho_b$$

$$r = 0,9945 *$$

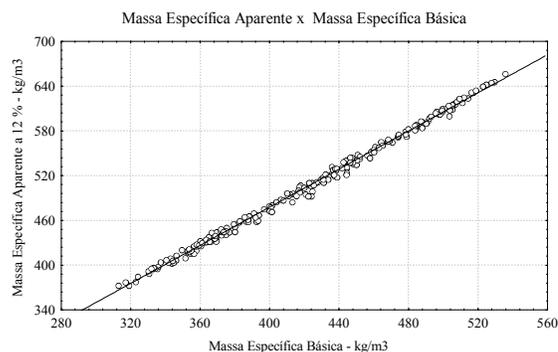
$\rho_{ap,m}$ = massa específica aparente média a 12% de umidade em kg.m^{-3}

$\rho_{b,m}$ = massa específica básica em kg.m^{-3}

* = significativo a 99% de probabilidade

Número de amostras para *Pinus maximinoi* = 240

Número de amostras para *Pinus taeda* = 228

Pinus taeda

$$\rho_{ap12} = -33,42 + 1,2779 \times \rho_b$$

$$r = 0,9984*$$

FIGURA 42 - REGRESSÕES LINEARES ENTRE A MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12% DE UMIDADE E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.2000.

6.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

Os resultados médios determinados para as resistências mecânicas das madeiras juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda* (Flexão Estática, expressa como módulo de ruptura e módulo de elasticidade; Compressão Paralela às Fibras, expressa como módulo de ruptura e módulo de elasticidade; Resistência ao Cisalhamento, expressa como tensão máxima nos sentidos de corte tangencial e radial; e Dureza nos sentidos tangencial, radial e longitudinal), são apresentados neste capítulo. Apresenta-se os resultados do teste de hipótese de igualdade H_0 , entre as propriedades determinadas para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*, por análise de variância.

A massa específica aparente e a porcentagem média de lenho tardio, determinadas nos corpos de prova ensaiados, são apresentados juntamente com as respectivas propriedades médias de resistência.

São apresentadas também, as correlações determinadas entre as propriedades de resistência mecânica com a massa específica aparente e com a porcentagem de lenho tardio, através de regressões lineares simples, a 95% de probabilidade.

6.4.1 Resistência à flexão estática

6.4.1.1 Resultados médios de resistência à flexão estática - Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade.

Os resultados médios por espécie, obtidos na determinação das propriedades de resistência à flexão estática da madeira juvenil, com seus respectivos desvios padrões, coeficientes de variação, massas específicas aparente médias e porcentagens médias de lenho tardio, são apresentados na Tabela 51.

TABELA 51 - RESULTADOS MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) À FLEXÃO ESTÁTICA, MASSA ESPECÍFICA APARENTE, PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO E TEOR DE UMIDADE DETERMINADOS NOS CORPOS DE PROVA DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*, 2000.

	MOR ¹ (MPa)	MOE ² (MPa)	$\rho_{ap, m}^3$ (kg.m ⁻³)	Lenho Tardio (%)	Teor de Umidade ⁶ (%)	N ⁴
<i>Pinus maximinoi</i>						
Média	66,07	8336,9	488,2	6,5	12,07	191
Desvio Padrão	16,229	2487,2	64,580	3,60	0,64	
C.V. ⁵ (%)	24,6	29,8	13,2	55,4	5,30	
<i>Pinus taeda</i>						
Média	60,59	7025,1	489,0	30,1	12,31	222
Desvio Padrão	14,095	2280,1	67,521	12,56	0,41	

C.V. ⁵ (%)	23,3	32,5	13,8	41,7	3,33
-----------------------	------	------	------	------	------

¹MOR = módulo de ruptura em MPa

²MOE = módulo de elasticidade em MPa

³ $\rho_{ap, m}$ = massa específica aparente em $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

⁴N = número de corpos de prova.

⁵C.V. = coeficiente de variação

⁶Teores médios de umidade dos corpos de prova após acondicionamento em câmara climatizada em 20 ± 3 °C e $65 \pm 2\%$ de Umidade Relativa no ensaio.

A Figura 43 ilustra os valores médios do Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade para as duas espécies; e a Tabela 52, apresenta o resumo da análise de variância realizada para testar a hipótese de igualdade das propriedades de resistência a flexão estática entre as espécies.

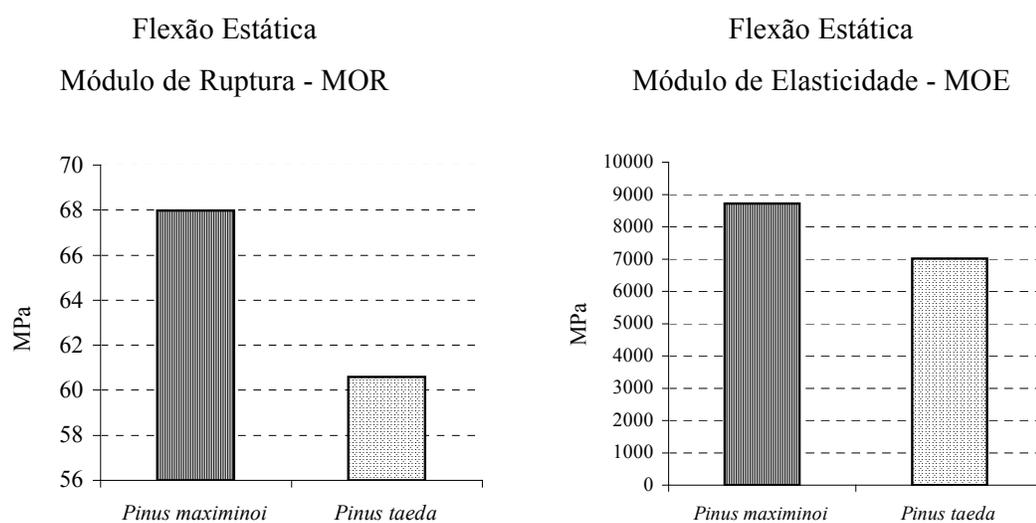


FIGURA 43 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA, DETERMINADOS PARA O LENHO JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

TABELA 52 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA, MASSA ESPECÍFICA APARENTE, PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL, ENTRE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*

Propriedade	Quadrado Médio	Quadrado Médio	F	
Flexão Estática	Espécie	Erro	(1,411)	
Módulo de Ruptura	3089	229	13,51197	**
Módulo de Elasticidade	176673216	5655341	31,24007	**
Massa específica aparente	62	4379	0,01417	n.s.
Lenho tardio	38267	113	337,9117	**

$F_{05}(1,411) = 3,86$

$F_{01}(1,411) = 6,70$

n.s. = não significativo

** significativo a 99% de probabilidade

Ao se analisar os resultados (Tabela 51 e 52), verifica-se que os módulos de ruptura e de elasticidade para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresentam valores médios 9 e 18% superiores aos determinados para a madeira juvenil de *Pinus taeda*, sendo as diferenças estatisticamente significativas.

Observa-se também que, os coeficientes de variação são altos e semelhantes para as duas espécies, o que demonstra a alta variação dos módulos de ruptura e de elasticidade, observada na madeira juvenil das duas espécies.

A alta variabilidade das propriedades na madeira juvenil de espécies do gênero *Pinus* é reconhecida por muitos pesquisadores como ZOBEL et al. (1959); KOLLMANN & CÔTE (1968); KOCH (1972); BENDTSEN (1978); KELLINSON (1981), entre outros. Os resultados dos módulos de ruptura e de elasticidade para a madeira das espécies de *Pinus* plantadas no Brasil, obtidos por vários pesquisadores como MUÑIZ (1993); LARA PALMA (1994), BORTOLETTO JÚNIOR (1999), apresentam também alta variação, com tendência de diminuição da variação para a madeira adulta, o que confirma a tendência observada nesse estudo.

A massa específica aparente média dos corpos de prova para as duas espécies apresentam valores muito próximos, cuja diferença é estatisticamente não significativa, e a porcentagem de lenho tardio como já observado nos resultados das propriedades físicas, apresenta valores médios bastante diferenciados entre *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda* (6,5 e 30,1 % respectivamente) com alta variação, sendo a diferença estatisticamente significativa.

De acordo com os resultados verificados, rejeita-se a hipótese de igualdade para os módulos de ruptura e de elasticidade à flexão estática, considerando-se estas propriedades superiores na madeira juvenil de *Pinus maximinoi*. Rejeita-se também a hipótese de igualdade para a porcentagem média de lenho tardio, que é inferior nos corpos de prova testados de *Pinus maximinoi*, enquanto que aceita-se a H_0 para a massa específica, que são similares na madeira juvenil dos corpos de prova testados das duas espécies.

Em razão da importância da resistência à flexão estática na indicação da qualidade da madeira, detalha-se nas Tabelas 53 e 55, os resultados médios dos módulos de ruptura e de elasticidade, massa específica aparente e porcentagem de lenho tardio determinados por árvore amostrada das duas espécies, e nas Tabelas 54 e 56, os resumos das análises de variância dos resultados médios entre as árvores amostradas por espécie.

TABELA 53 - VALORES MÉDIOS DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, OBTIDOS NO ENSAIO À FLEXÃO ESTÁTICA, PARA AS ÁRVORES DE *Pinus maximinoi* AMOSTRADAS, 2000.

Árvore	MOR ¹ (MPa)	MOE ² (MPa)	$\rho_{ap, m}^3$ (kg.m ⁻³)	Lenho Tardio (%)	N ⁴
1	54,09	5946,5	498,5	4,70	11
2	70,10	8203,4	497,7	9,88	7
3	62,23	8345,4	474,8	6,20	9
4	41,86	4224,6	397,1	6,24	6
5	69,47	8952,0	517,4	8,57	9
6	76,46	9482,8	528,5	8,33	10
7	56,85	6411,3	449,4	6,07	6
8	59,21	8122,3	438,8	5,13	9

9	75,76	8465,7	560,1	7,51	9
10	66,58	8903,8	503,9	8,29	9
11	53,67	6100,9	484,8	6,23	7
12	58,46	7818,0	466,2	5,03	6
13	74,33	8610,5	516,9	8,14	9
14	57,43	8245,3	456,9	5,63	9
15	98,02	12897,4	623,4	8,10	11
16	72,89	9205,2	502,1	7,27	18
17	59,64	9063,6	423,7	4,52	14
18	62,56	7503,5	469,2	6,37	15
19	57,44	6902,3	422,6	4,31	9
20	73,19	9415,6	479,7	6,19	8

¹MOR = módulo de ruptura em Mpa ³ $\rho_{ap, m}$ = massa específica aparente média a 12%, em kg.m⁻³

²MOE = módulo de elasticidade em Mpa ⁴N = número de corpos de prova.

TABELA 54 RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, OBTIDOS NO ENSAIO À FLEXÃO ESTÁTICA, PARA AS ÁRVORES DE *Pinus maximinoi* AMOSTRADAS.

Propriedade	Quadrado Médio	Quadrado Médio	F	
Flexão Estática	Árvores	Erro	(19, 171)	
Módulo de Ruptura	1311	147	8,92675	**
Módulo de Elasticidade	28002210	3762413	7,44262	**
Massa específica aparente	25459	1805	14,10353	**
Lenho tardio	9,84416	16,22742	0,606638	n.s

F₀₅(19,171) = 1,63

n.s. = não significativo

F₀₁(19,171) = 1,98

** = significativo a 99% de probabilidade

TABELA 55 - VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA, MÓDULO DE ELASTICIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA OBTIDOS NO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA, PARA AS ÁRVORES DE *Pinus taeda* AMOSTRADAS.

Árvore	MOR ¹ (MPa)	MOE ² (MPa)	$\rho_{ap, m}$ ³ (kg.m ⁻³)	Lenho Tardio (%)	N ⁴
1	52,03	6140,8	457,5	25,90	7
2	57,18	7012,5	476,5	29,27	12
3	61,24	7286,6	484,3	24,85	17
4	55,01	4127,9	520,5	35,21	6
5	56,33	7121,2	468,8	28,61	9
6	57,08	7248,2	453,9	19,58	6
7	62,37	7590,2	492,5	28,67	16
8	58,57	6189,0	474,6	29,31	9

9	65,13	7790,3	508,9	34,46	14
10	62,09	6790,8	478,3	23,28	16
11	55,71	6739,8	458,5	28,68	18
12	58,25	5267,5	474,8	28,13	6
13	51,11	5735,2	437,5	25,16	8
14	51,38	5683,6	441,0	31,04	6
15	67,09	7374,4	527,7	40,00	13
16	61,52	7876,2	508,4	32,00	10
17	73,28	8660,5	544,7	38,98	16
18	60,78	6586,4	487,4	31,25	12
19	68,22	8504,6	525,5	31,88	10
20	55,31	6470,3	490,5	30,6	11

¹MOR = módulo de ruptura em MPa ³ $\rho_{ap, m}$ = massa específica aparente média em $kg.m^{-3}$

²MOE = módulo de elasticidade em MPa ⁴N = número de corpos de prova.

TABELA 56 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, OBTIDOS NO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA, PARA AS ÁRVORES DE *Pinus taeda* AMOSTRADAS.

Propriedade	Quadrado Médio		F	
	Árvores amostradas	Erro		
Flexão Estática			(19,202)	
Módulo de Ruptura	379	182	2,088038	**
Módulo de Elasticidade	10587969	4691877	2,256660	**
Massa específica aparente	9199	4123	2,231266	**
Lenho tardio	283	146	1,937307	*

$F_{05}(19,202) = 1,63$ $F_{01}(19,202) = 1,98$

n.s. = não significativo

* = significativo a 95% de probabilidade

** = significativo a 99% de probabilidade

Observa-se para ambas as espécies a variação entre os resultados médios do módulo de ruptura, módulo de elasticidade, massa específica aparente e porcentagem de lenho tardio entre as árvores amostradas.

Entre as árvores de *Pinus maximinoi* nota-se maior amplitude dos dados amostrais provavelmente em função da massa específica aparente média que varia de 397,1 $kg.m^{-3}$ (árvore 4) a 623,4 $kg.m^{-3}$ (árvore 15), sendo que ambas fornecem os valores médios mínimo e máximo para o módulo de ruptura (41,9 e 98,0 MPa) e para o módulo de elasticidade (4225 e 12897 MPa), enquanto os resultados médios para as outras árvores amostradas apresentam distribuição menor em relação a média para a espécie.

As diferenças das propriedades entre as árvores são significativas, exceto para a porcentagem de lenho tardio, (Tabela 54), cujas diferenças não são significativas, indicando que na madeira juvenil de *Pinus maximinoi* a porcentagem de lenho tardio não está relacionada à massa específica, ou apresenta baixa correlação.

De acordo com esse resultado e com o observado para as espessuras das paredes celulares dos traqueóides de lenho inicial e tardio (vide Tabela 19 e 20, páginas 135 e 136), a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresenta lenho inicial mais denso que o *Pinus taeda*. Com isto, menor variação entre os lenhos inicial e tardio, e conseqüentemente madeira mais homogênea, o que indica para muitos usos, melhor qualidade da madeira.

Observa-se que os valores do comparador F calculados são superiores aos verificados para *Pinus taeda*, o que indica maior variação entre os resultados obtidos para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi*.

Para *Pinus taeda*, a variação entre os valores médios por amostra são menores que para *Pinus maximinoi*, provavelmente porque a amplitude de distribuição da massa específica aparente de 437,5 a 544,7 kg.m⁻³ é menor.

Para o módulo de ruptura a variação é de 51,1 a 73,3 MPa e de 4128 a 8661 MPa em módulo de elasticidade, as diferenças entre as árvores amostradas são também significativas, com exceção da porcentagem de lenho tardio, cujas diferenças são significativas apenas a 95% de probabilidade, como pode ser verificado pelos valores calculados do comparador F.

Os resultados médios para a resistência à flexão estática obtidos nesse estudo para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, comparados aos apresentados pelo CENTRO TÉCNICO DE EVALUACION FORESTAL (1972), realizados a partir da madeira de cinco árvores de *Pinus maximinoi* (ex *Pinus tenuifolia*) de idades entre 28 e 34 anos, no estado saturado são superiores para o módulo de ruptura, e inferiores nos módulos de elasticidade, para madeira com massa específica aparente média de 450 kg.m⁻³, não sendo apresentados dados sobre a madeira seca.

As informações sobre propriedades de resistência da madeira de *Pinus maximinoi* são escassas na literatura e quando se referem à qualidade da madeira, são apresentadas apenas as massas específicas, o que dificulta a comparação de resultados entre propriedades da madeira intra espécie.

Comparando-se os resultados determinados para as duas espécies desse estudo, com os de espécies do gênero *Pinus* plantadas no Brasil, observa-se que os resultados médios dos

módulos de ruptura desse estudo são superiores aos apresentados por TOMASELLI (1980), para a madeira juvenil na meia altura do tronco de árvores com 18 anos de idade de *Pinus taeda*, (497 kgf.cm⁻²) e também ao módulo de elasticidade (61200 kgf.cm⁻²).

No mesmo trabalho, o autor apresenta os resultados para a madeira juvenil de *Pinus elliottii* (MOR de 512 kgf.cm⁻²; MOE de 76100 kgf.cm⁻²) e *Araucaria angustifolia*, que apresentou resultados médios na madeira juvenil, da mesma posição do tronco, de 808 kgf.cm⁻² para MOR e 141900 kgf.cm⁻² para MOE, segundo TOMASELLI (1980), com diferenças menores entre a madeira adulta, portanto mais homogênea no conjunto. Já os resultados médios verificados para a madeira adulta de *Pinus taeda* e *Pinus elliotti* foram aproximadamente 100% superiores aos da madeira juvenil tanto para MOR como para MOE. Observa-se, que comparando-se os resultados desse estudo, a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresenta médias superiores aos observados por TOMASELLI (1980), para a madeira juvenil de *Pinus elliotti*.

MUÑIZ (1993), determinou valores médios para o MOR de 638,2 kgf.cm⁻² (62,6 MPa) e MOE de 88333,4 kgf.cm⁻² (8662,5 MPa) em flexão estática para a madeira juvenil de *Pinus taeda*, separados da madeira adulta em árvores de 30 anos, da região de Irati-PR. A autora determinou no mesmo estudo valores semelhantes para a madeira juvenil de *Pinus elliottii*, (648,9 e 86309,5 kgf.cm⁻², respectivamente para MOR e MOE), coletado de forma similar à de *Pinus taeda*, tendo determinado para a madeira adulta, valores médios superiores em torno de 90% para o MOE e 50 % para o MOR.

Os valores médios apresentados por MUÑIZ (1993), para a madeira juvenil de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, são numericamente inferiores em MOR, comparados aos da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* determinadas nesse estudo, sendo o MOE ligeiramente superior.

Os resultados apresentados por LARA PALMA (1994), também de árvores com trinta anos de idade de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, da região de Irati-PR, para as quais o autor determinou as propriedades de resistência à flexão em três posições no sentido medula casca, na posição correspondente a madeira interna (juvenil) de *Pinus taeda*, o MOR médio foi de 593 kgf.cm⁻², o MOE de 86771 kgf.cm⁻² e massa específica aparente de 449 kg.m⁻³, com coeficiente de variação de 22%, com valores médios ligeiramente inferiores para a madeira interna de *Pinus elliottii*, com coeficiente de variação de 20%. Para a madeira das posições intermediária e externa (adulta) os valores médios obtidos para MOR e MOE, foram

aproximadamente 90% superiores para massas específicas aparentes médias de 596 e 545 kg.m⁻³ para *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, respectivamente.

Já LUCAS FILHO (1997), obteve em seu trabalho com *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, de árvores com vinte e um anos de idade, da região de Três Barras-SC, valores médios para o MOR do lenho juvenil de 48,6 e 38,7 MPa e de 55 e 69 MPa para a madeira adulta. Observa-se que o resultado para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* (66 MPa) determinado nesse estudo é bastante superior aos apresentados pelo autor, para a madeira juvenil e ligeiramente inferior a madeira adulta de *Pinus elliottii*, o mesmo ocorrendo para a madeira juvenil de *Pinus taeda* desse estudo. Para o MOE, o verificado para *Pinus maximinoi* (8336 MPa) é superior aos da madeira juvenil apresentados pelo autor, de 7502 e 5108 MPa e inferior ao da madeira adulta que foram de 9819 e 10929 MPa para *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, respectivamente.

Consideradas as diferenças em amostragem, em especial a idade das árvores amostradas, nos trabalhos em que se separam a madeira juvenil da adulta para a confecção dos corpos de prova, observa-se que os resultados médios determinados nesse estudo para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, assemelham-se numericamente, sendo em alguns casos superiores, o que pode representar vantagens na utilização da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*.

Ao se comparar os resultados das duas espécies estudadas com outras espécies do gênero *Pinus* plantadas no Brasil, observam-se semelhanças, como por exemplo nos resultados apresentados por BORTOLETTO JÚNIOR (1993), de árvores entre 10 e 25 anos de idade, coletadas em várias regiões do Estado de São Paulo, (*Pinus caribaea* var. *bahamensis*; *Pinus caribaea* var. *caribaea*; *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*). Os valores médios para o módulo de ruptura variaram entre as espécies estudadas de 597 a 667 daN.cm⁻² em madeira seca e valores inferiores entre 449 e 464 daN.cm⁻² para madeira saturada. O autor também apresenta os resultados para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, para as quais obteve MOR de 838 e 712 daN.cm⁻² para a madeira seca e 476 e 440 daN.cm⁻² para a madeira saturada. Já o módulo de elasticidade, nas espécies tropicais varia entre 65580 a 95394 daN.cm⁻² (madeira seca) e 68260 a 85274 daN.cm⁻² (madeira saturada), para *Pinus elliottii* de 108419 daN.cm⁻² para madeira seca e 92661 daN.cm⁻² para madeira saturada, e para *Pinus taeda* de 132252 daN.cm⁻² para a madeira seca e 106450 daN.cm⁻² para madeira saturada, estas provavelmente originadas de árvores com maior idade.

Observa-se que após realizada a devida conversão de unidades para MPa, os resultados para os módulos de ruptura e de elasticidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda* observadas nesse estudo, assemelham-se aos apresentados para as espécies tropicais apresentadas por BORTOLETTO JÚNIOR (1993), sendo inferiores aos de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, provavelmente em função da idade da madeira.

Comparando-se ainda os valores da resistência da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda* com os obtidos por KLOCK (1989) para *Pinus oocarpa* de 14 e 18 anos e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de 14 e 20 anos, da região de Agudos-SP, observa-se que os valores médios para o MOR nesse estudo são superiores aos determinados para a madeira juvenil daquelas espécies e idades, que variaram entre 435 kgf.cm⁻² e 544 kgf.cm⁻², e também para o módulo de elasticidade, que variou de 51203 a 75919 kgf.cm⁻², embora o MOE de *Pinus taeda* seja inferior aos obtidos para a madeira juvenil das árvores de 18 e 20 anos das duas espécies estudadas naquele trabalho. Já a madeira adulta, apresentou resultados médios superiores. A massa específica aparente média variou de 388 a 427 kg.m⁻³ e na madeira adulta entre as espécies e idades de 456 a 556 kg.m⁻³.

SANTINI et al. (2000), obtiveram módulos de ruptura inferiores (555 e 556 kgf.cm⁻²) para a madeira de *P. elliotti* e *P. taeda*, com 13 anos de idade, os valores do MOE, para as duas espécies estudadas foram inferiores aos de *Pinus maximinoi* desse estudo (73266 e 59561 kgf.cm⁻²), apenas o MOE de *Pinus elliotti* é ligeiramente superior ao de *Pinus taeda*.

De acordo com as observações e comparações discutidas, vários autores observaram a tendência de heterogeneidade das características da madeira no sentido medula-casca para espécies do gênero *Pinus*, entre eles ZOBEL et al (1959); BENDTSEN (1978); PEARSON & GILMORE (1980); KLOCK (1989); MUÑIZ (1993); LARA PALMA (1994); entre outros.

As características da madeira juvenil são portanto reconhecidamente, de menor massa específica, menor porcentagem de lenho tardio e resistência mecânica inferiores, apresentando também maior variação entre estas propriedades, como também pode-se observar nesse estudo, para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*.

Contudo, de acordo com as tendências verificadas e comprovadas por muitos pesquisadores pode-se esperar que, com a formação dos anéis anuais de crescimento sucessivos pelo aumento da idade, a madeira vai gradativamente assumindo as características da madeira adulta nas porções externas, na qual a massa específica e porcentagem de lenho

tardio aumentam e, por consequência, em razão da correlação positiva existente entre as propriedades, a resistência mecânica é incrementada.

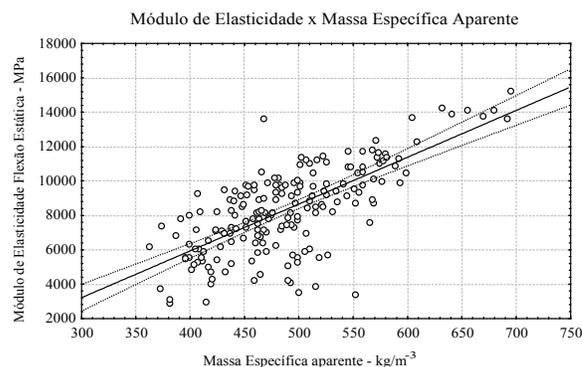
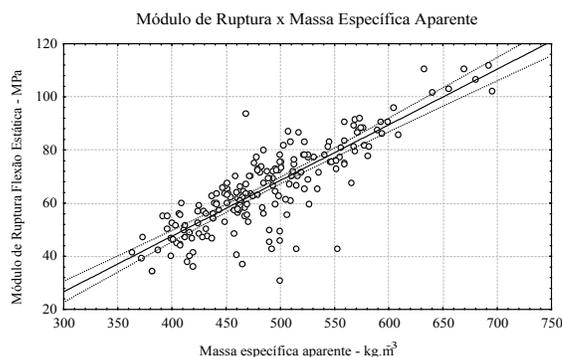
6.3.1.2 Correlações entre as propriedades de resistência à flexão estática e massa específica aparente a 12 % de umidade, e porcentagem de lenho tardio

As Figuras 44 e 45 apresentam graficamente as regressões lineares, a 95% de probabilidade, entre as propriedades de resistência à flexão estática, módulo de ruptura e módulo de elasticidade, com a massa específica aparente e a porcentagem de lenho tardio dos corpos de prova testados para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*.

A Tabela 57, apresenta as equações lineares obtidas pela análise de regressão linear, a 95% de probabilidade, e os respectivos coeficientes de correlação, para as propriedades de flexão estática com a massa específica aparente e com a porcentagem de lenho tardio da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*.

Os módulos de ruptura e de elasticidade à flexão estática relacionam-se significativamente de forma direta com a massa específica aparente e a porcentagem de lenho tardio nas duas espécies.

Os coeficientes determinados através das regressões mostram-se altos, sendo de 0,83 e 0,80 para os módulos de ruptura com a massa específica aparente, para *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, respectivamente, comprovando-se a alta influência da massa específica sobre o módulo de ruptura à flexão estática.



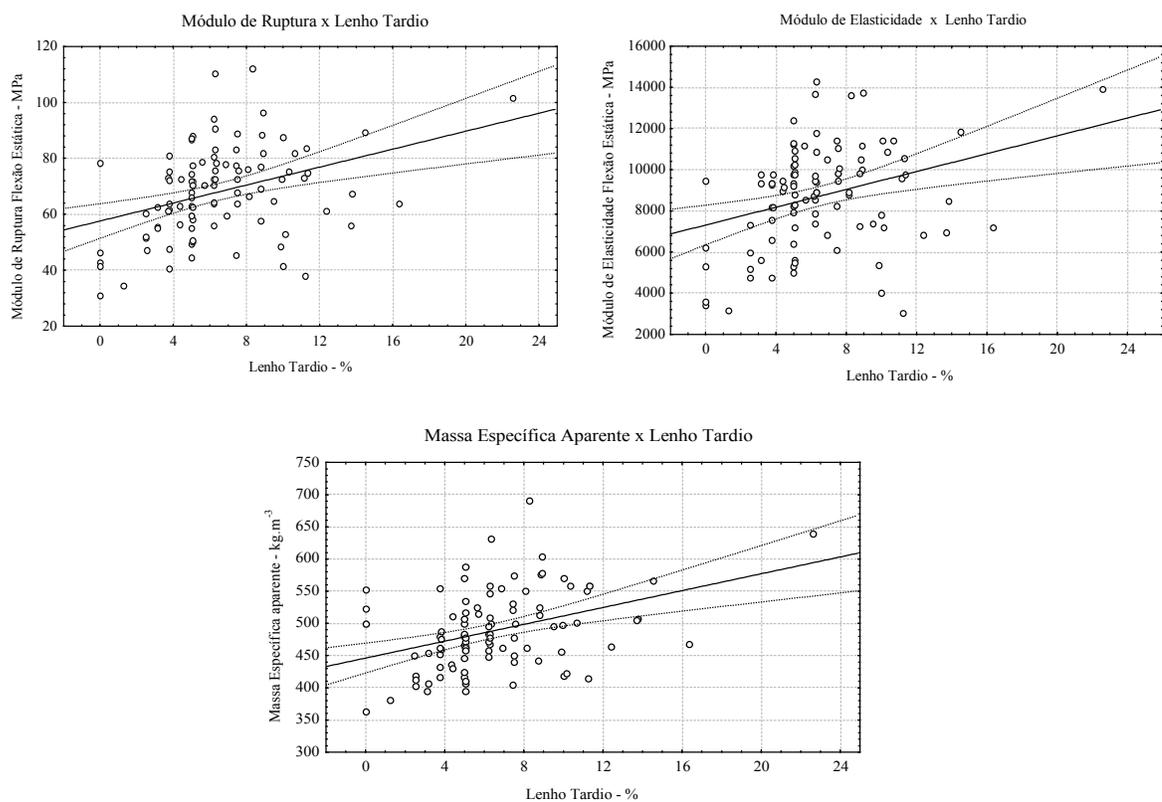
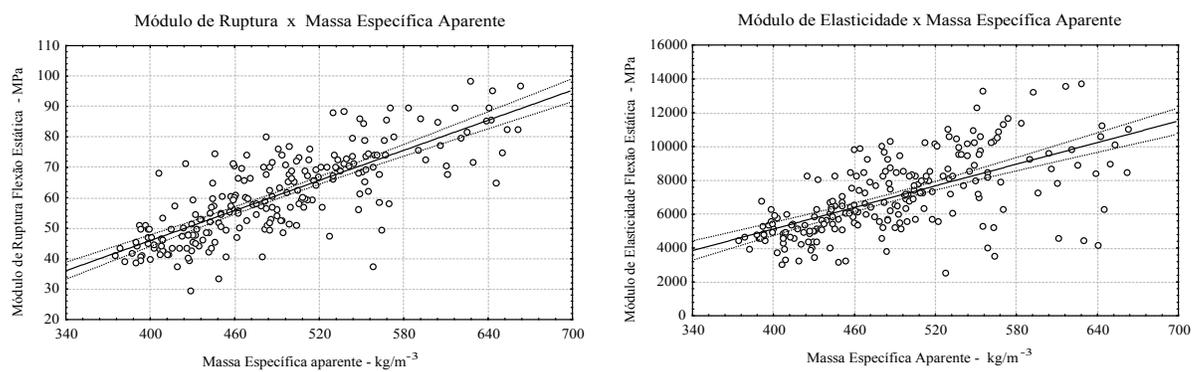


FIGURA 44 - REGRESSÕES LINEARES, A 95% DE PROBABILIDADE, DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E COM A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi*.



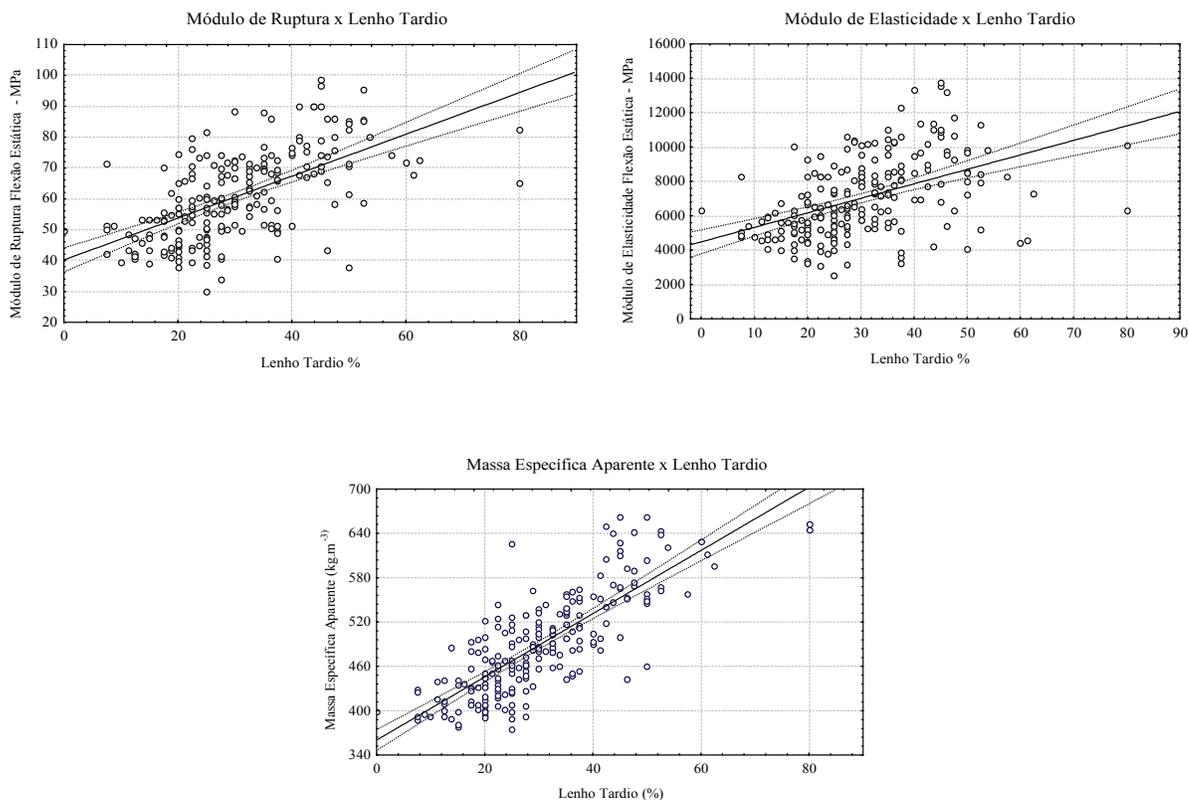


FIGURA 45 - REGRESSÕES LINEARES, A 95% DE PROBABILIDADE, DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E COM A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus taeda*.

TABELA 57 - EQUAÇÕES LINEARES E CORRELAÇÕES DETERMINADAS PARA OS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA, COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E COM A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*.

<i>Pinus maximinoi</i>		<i>Pinus taeda</i>	
Equação	Correlação	Equação	Correlação
$MOR = -36,18 + 0,20944 \times \rho_{ap}$	$r = 0,83346 *$	$MOR = -19,97 + 0,16474 \times \rho_{ap}$	$r = 0,80350$

12		12	*
MOR = 57,605 + 1,6044 x LT	r = 0,36072 *	MOR = 40,166 + 0,67822 x LT	r = 0,62330
			*
MOE = -4965 + 27,248 x ρ_{ap12}	r = 0,70747 *	MOE = -3373 + 21,265 x ρ_{ap12}	r = 0,63973
			*
MOE = 7311,5 + 216,62 x LT	r = 0,31731*	MOE = 4484,7 + 84,362 x LT	r = 0,47860
			*
ρ_{ap12} = 446,13 + 6,5477 x LT	r = 0,38853 *	ρ_{ap12} = 360,24 + 4,2754 x LT	r = 0,79430
			*

MOR = módulo de ruptura em MPa

MOE = módulo de elasticidade em MPa

ρ_{ap12} = massa específica aparente a 12%, em kg.m⁻³

LT = lenho tardio em %.

r = coeficiente de correlação linear

* = correlação significativa a 95% de probabilidade

As correlações entre os módulos de elasticidade com as massas específica foram de 0,71 e 0,64 respectivamente, o que demonstra a alta influência da massa específica na resistência a flexão estática da madeira juvenil das duas espécies, sendo mais acentuada na madeira juvenil de *Pinus maximinoi*.

Já as relações entre os módulos de ruptura e de elasticidade com a porcentagem de lenho tardio para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, diminuem sensivelmente, o que se esperava em razão da baixa porcentagem de lenho tardio na madeira, e de sua baixa correlação com a massa específica nessa espécie, como verificado nos itens anteriormente discutidos.

Para *Pinus taeda*, a porcentagem de lenho tardio correlaciona-se melhor com o MOR (0,62), e menos com o MOE (0,48), embora a correlação entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio é alta (0,79); dessa forma, observa-se que na madeira juvenil de *Pinus taeda*, a porcentagem de lenho tardio exerce maior influência nas propriedades de resistência a flexão estática que em *Pinus maximinoi*.

Correlações similares a desse estudo, foram observadas por KLOCK (1989), entre os módulos de ruptura e elasticidade com a massa específica aparente para a madeira interna (juvenil) e externa (adulta) de árvores com 14, 18 - 20 anos de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var *hondurensis*, da região de Agudos-SP, para as quais as correlações variaram

entre 0,66 a 0,78 para o módulo de ruptura e de 0,62 a 0,73 para o módulo de elasticidade. Já para o lenho externo das duas espécies as correlações se elevaram e variaram entre 0,81 e 0,90.

As correlações entre o MOR e a porcentagem de lenho tardio, determinadas naquele trabalho, foram altas entre 0,71 e 0,84, entretanto o autor obteve esses resultados entre a combinação madeira juvenil - adulta, tendo obtido correlações baixas ao correlacionar apenas a madeira juvenil das duas espécies estudadas.

LUCAS FILHO (1997), observou correlações semelhantes entre os módulos de ruptura e de elasticidade com a massa específica aparente para a madeira de árvores com 21 anos de idade de *Pinus taeda* (0,64 e 0,74), e *Pinus elliottii* (0,79 e 0,85). O contrário dos resultados desse estudo onde se obteve melhores correlações entre o módulo de ruptura e a massa específica, provavelmente em decorrência a maior idade das árvores estudadas.

Considerando a porcentagem de lenho tardio, LUCAS FILHO (1997), verificou resultados contraditórios para as duas espécies, observou correlações altas de 0,70 e 0,71 entre esta característica e os módulos de ruptura e de elasticidade para *Pinus elliotti*, enquanto que não encontrou correlação significativa entre o MOR e a porcentagem de lenho tardio de *Pinus taeda*, e de apenas 0,34 entre o MOE e a porcentagem de lenho tardio.

Já MUÑIZ (1993), em seu estudo com árvores de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, de 30 anos, encontrou correlações bastante altas e próximas entre o módulo de ruptura e de elasticidade com a massa específica aparente para as duas espécies, variando entre 0,93 e 0,95, provavelmente em função da melhor distribuição das propriedades na madeira adulta.

As correlações lineares observadas entre as propriedades de resistência à flexão estática, das duas espécies, *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, apresentam a mesma tendência geral observada por vários pesquisadores. Eles obtiveram boas correlações positivas entre as propriedades de resistência e a massa específica, segundo Bendtsen & Ethington (1972) e Manwiller (1972), citados por KOCH (1972). Foram observadas correlações lineares positivas entre os módulos de ruptura e elasticidade com a massa específica, em cinco espécies do gênero *Pinus*, dos Estados Unidos, na faixa de 0,72 a 0,87 para o módulo de ruptura e massa específica e na faixa de 0,44 a 0,69 para o módulo de elasticidade e massa específica.

KNIGGE & SCHULZ (1966), afirmam que a porcentagem de lenho tardio é de grande interesse para as propriedades mecânicas da madeira, o que também foi verificado por outros autores (KLOCK, 1989).

Entretanto para a madeira juvenil, a importância da porcentagem de lenho tardio, conforme os resultados observados, é baixa na madeira de *Pinus maximinoi*, exercendo comparativamente maior influência na madeira juvenil de *Pinus taeda*, porém não se apresentando como um bom indicador da resistência à flexão estática na madeira juvenil das espécies estudadas. Espera-se contudo que, com o aumento da idade e conseqüente incremento na proporção de madeira adulta, aumente a influência da porcentagem de lenho tardio nas propriedades de resistência das duas espécies.

6.3.2 Resistência à compressão paralela às fibras

6.3.2.1 Resultados médios de resistência à compressão paralela às fibras - Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade.

Os resultados médios por espécie, obtidos na determinação das propriedades de resistência à compressão paralela às fibras da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*, com seus respectivos desvios padrões, coeficientes de variação, massa específica aparente a 12% de umidade e porcentagem de lenho tardio, determinados nos corpos de prova ensaiados, são apresentados na Tabela 58.

TABELA 58 - RESULTADOS MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, MASSA ESPECÍFICA APARENTE, PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO E TEOR DE UMIDADE DETERMINADOS NOS CORPOS DE PROVA, DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*, 2000.

MOR ¹	MOE ²	$\rho_{ap, m}$ ³	Lenho	Teor de	N ⁴
------------------	------------------	-----------------------------	-------	---------	----------------

	(MPa)	(MPa)	(kg.m ⁻³)	Tardio (%)	Umidade ⁶ (%)	
<i>Pinus maximinoi</i>						
Média	24,12	6867,1	450,8	11,4	12,12	187
Desvio Padrão	3,129	1400,0	39,750	4,440	0,54	
C.V. ⁵ (%)	12,97	20,39	8,82	38,9	4,45	
<i>Pinus taeda</i>						
Média	24,80	6967,2	480,5	32,7	12,36	154
Desvio Padrão	2,453	1422,7	37,120	8,966	0,47	
C.V. ⁵ (%)	9,89	20,42	7,73	27,4	3,80	

¹MOR = módulo de ruptura em MPa

⁴N = número de corpos de prova.

²MOE = módulo de elasticidade em MPa

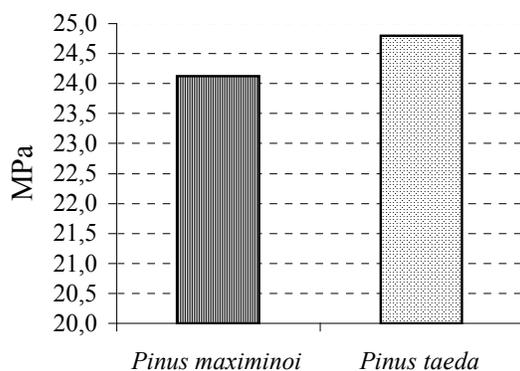
⁵C.V. = coeficiente de variação

³ $\rho_{ap,m}$ = massa específica aparente em kg.m⁻³

⁶Teores médios de umidade dos corpos de prova após acondicionamento em câmara climatizada em 20 ± 3 °C e $65 \pm 2\%$ de Umidade Relativa no ensaio.

A Figura 46, ilustra os valores médios dos Módulos de Ruptura e de Elasticidade à compressão paralela às fibras, para a madeira juvenil das duas espécies; e a Tabela 59, apresenta o resumo das análises de variância realizadas para testar a hipótese de igualdade para esta propriedade, e para a massa específica aparente e porcentagem de lenho tardio nos corpos de prova ensaiados, entre as espécies.

Módulo de Ruptura - MOR



Módulo de Elasticidade - MOE

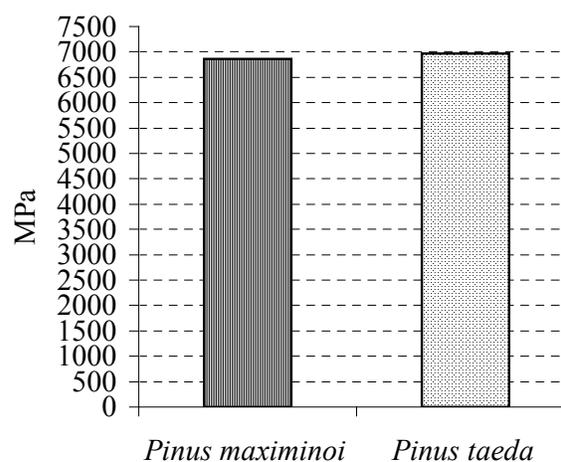


FIGURA 46 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, DETERMINADOS PARA O LENHO JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

Ao se observar os resultados verifica-se que os módulos de ruptura e de elasticidade para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresentam valores médios ligeiramente inferiores aos determinados para a madeira juvenil de *Pinus taeda*, o contrário dos resultados observados para a resistência a flexão estática, sendo as diferenças estatisticamente significativa para o módulo de ruptura, e não significativa para o módulo de elasticidade.

Observa-se também que, os coeficientes de variação para as médias dos módulos de ruptura e de elasticidade são superiores para *Pinus maximinoi*, porém quando comparados aos observados em flexão estática, foram sensivelmente reduzidos. Isto, provavelmente ocorreu em razão das dimensões dos corpos de prova, já que os utilizados para os ensaios de compressão possuíam dimensões nominais e área transversal (5 x 5 cm) superiores, em comparação aos de 2 x 2 cm de flexão estática.

TABELA 59 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, DA MASSA ESPÉCIFICA APARENTE E DA PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, DETERMINADOS PARA O LENHO JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

Propriedade	Quadrado Médio	Quadrado Médio	F	
Compressão Paralela	Espécie	Erro	(1,339)	
Módulo de Ruptura	39	8	4,8627	*
Módulo de Elasticidade	842102,	1988809	0,4234	n.s.
Massa específica aparente	74164	1489	49,8027	**
Lenho tardio	37893	47	806,2951	**

$F_{05}(1,339) = 3,87$

$F_{01}(1,339) = 6,72$

n.s. = não significativo

* = significativo a 95% de probabilidade

**= significativo a 99% de probabilidade

A massa específica aparente média dos corpos de prova da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresenta-se com valor inferior ao determinado para *Pinus taeda*, sendo a diferença significativa estatisticamente, o que não ocorreu para os corpos de prova de flexão estática; a porcentagem de lenho tardio como já observado nos resultados das propriedades físicas e de flexão estática (vide Tabela 51, página 235), também apresenta valores médios bastante diferenciados entre as duas espécies (11,4 e 32,7 %) com alta variação.

Observa-se também que, a porcentagem média do lenho tardio nos corpos de prova de *Pinus maximinoi* para a compressão são superiores a observada nos corpos de prova de flexão estática, provavelmente em função das dimensões dos corpos de prova e da própria variação dentro da espécie e intra árvores.

Já para os corpos de prova da madeira juvenil de *Pinus taeda*, os valores médios para a massa específica aparente e da porcentagem média de lenho tardio mantiveram-se muito próximos aos observados nos de flexão estática.

De acordo com os resultados verificados, rejeita-se a hipótese de igualdade para o módulo de ruptura, porém a 95% de probabilidade; aceita-se a hipótese para o módulo de elasticidade determinado de compressão paralela às fibras, considerando-se a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* inferior em módulo de ruptura, sendo os módulos de elasticidade similares para a madeira juvenil das duas espécies.

Os resultados mostram também haver diferença significativa para a massa específica aparente a 12% de umidade e para a porcentagem média de lenho tardio, sendo inferiores nos corpos de prova testados da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*.

Em razão da importância da resistência à compressão paralela às fibras, na determinação da qualidade da madeira, detalham-se nas Tabelas 60 e 62, os resultados médios determinados para os módulos de ruptura e de elasticidade, massa específica aparente e porcentagem de lenho tardio por árvore amostrada das duas espécies, e nas Tabelas 61 e 63, os resumos da análise de variância das propriedades de compressão paralelas às fibras entre as árvores amostradas por espécie.

TABELA 60 - VALORES MÉDIOS DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO OBTIDOS NO ENSAIO DE

COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, PARA AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi*, 2000.

Árvore	MOR ¹ (MPa)	MOE ² (MPa)	$\rho_{ap,m}$ ³ (kg.m ⁻³)	Lenho Tardio (%)	N ⁴
1	20,6	6721,38	469,1	11,3	8
2	25,0	8201,79	460,3	9,4	8
3	25,0	7398,75	464,1	10,1	9
4	17,0	3771,56	370,0	8,5	10
5	25,6	7579,03	478,6	15,1	8
6	28,2	8375,35	501,5	14,4	9
7	22,1	5945,47	428,4	8,6	8
8	23,5	6197,00	430,8	9,8	9
9	27,9	9319,82	509,9	17,3	13
10	24,3	7055,06	444,3	9,4	9
11	24,5	7606,17	484,5	14,1	9
12	23,6	6415,60	445,1	9,3	10
13	24,9	6911,55	471,6	14,1	7
14	23,4	6631,01	423,2	9,2	8
15	29,8	8420,47	520,7	19,8	8
16	26,9	7388,24	484,8	13,6	10
17	23,7	6974,11	401,5	8,0	12
18	22,5	6267,33	440,4	12,2	13
19	22,5	5845,53	407,2	10,9	9
20	24,3	6738,15	441,1	12,5	10

¹MOR = módulo de ruptura em MPa

²MOE = módulo de elasticidade em MPa

³ $\rho_{ap,m}$ = massa específica aparente média a 12%, em kg.m⁻³

⁴N = número de corpos de prova.

Observa-se que entre as árvores amostradas de *Pinus maximinoi* ocorre maior amplitude dos dados amostrais em função da massa específica média que varia de 370 kg.m⁻³ (árvore 4) a 520,7 kg.m⁻³ (árvore 15), ambas fornecem os valores médios mínimo e máximo para o módulo de ruptura (17,0 e 29,8 MPa) e para o módulo de elasticidade (3772 e 8420 MPa), enquanto os resultados médios para as outras árvores amostradas apresentam distribuição menor em relação a média para a espécie. As diferenças das propriedades entre as árvores são significativas, (Tabela 61). Observa-se que os valores do comparador F calculados são superiores aos verificados para *Pinus taeda*, o que indica maior variação entre os resultados obtidos para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi*.

TABELA 61 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi*

Propriedade	Quadrado Médio	Quadrado Médio	F	
Compressão Paralela às Fibras	Árvores amostradas	Erro	(19,167)	
Módulo de Ruptura	65	3,5	18,46704	**
Módulo de Elasticidade	10713449	964164,6	11,11164	**
Massa específica aparente	11405	462,3	24,67026	**
Lenho tardio	80	12,9	6,20847	**

$F_{05}(19,167) = 1,63$

$F_{01}(19,167) = 2,02$

** significativo a 99% de probabilidade

Como observado para os valores médios entre as espécies, quando detalhado por árvore amostrada, nota-se que os valores médios determinados para a massa específica aparente dos corpos de provas são inferiores, o que pode ter contribuído para resultados em módulo de ruptura e módulo de elasticidade inferiores aos da madeira juvenil de *Pinus taeda*, provavelmente em função da metodologia de amostragem diferenciada para esta propriedade.

Para a madeira juvenil de *Pinus taeda*, a variação entre os valores médios por árvore amostrada são menores para a massa específica aparente de 426,4 a 524,6 kg.m⁻³, em módulo de ruptura, de 21,5 a 27,0 Mpa, e em módulo de elasticidade de 5341 a 8255 Mpa.

As diferenças entre as árvores amostradas são também significativas, porém com menor variação comparando-se as propriedades de *Pinus maximinoi*, como pode ser verificado pelos menores valores calculados do comparador F.

TABELA 62 - VALORES MÉDIOS DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO OBTIDOS NO ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, PARA AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus taeda*, 2000.

Árvore	MOR ¹ (MPa)	MOE ² (MPa)	$\rho_{ap,m}$ ³ (kg.m ⁻³)	Lenho Tardio (%)	N ⁴
1	23,9	5340,9	449,2	28,9	7
2	23,2	6073,6	426,4	20,4	7
3	25,3	6611,6	461,7	29,3	10
4	21,5	5751,4	450,5	25,7	7
5	24,5	6628,7	473,9	30,3	8
6	25,0	7151,7	462,4	23,1	8
7	25,8	8255,2	504,5	38,0	6
8	25,6	7354,8	497,8	36,0	10
9	27,0	8223,4	520,6	43,3	7

10	24,9	7276,1	481,5	29,3	7
11	22,3	6514,8	461,3	33,3	6
12	24,8	7503,8	492,8	34,2	11
13	22,3	6129,8	463,0	25,4	7
14	23,8	6919,9	481,1	34,1	6
15	24,6	6205,0	503,1	41,4	7
16	23,9	6808,1	484,3	37,0	9
17	26,3	8238,7	514,8	38,3	7
18	26,5	7392,6	484,7	31,1	6
19	26,4	7757,9	524,6	39,3	9
20	24,4	6879,3	467,9	31,4	9

¹MOR = módulo de ruptura em MPa

²MOE = módulo de elasticidade em MPa

³ $\rho_{ap, m}$ = massa específica aparente média a 12%, em kg.m⁻³

⁴N = número de corpos de prova.

TABELA 63 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus taeda*

Propriedade	Quadrado Médio		F (19,134)	
	Árvores amostradas	Erro		
Compressão Paralela às Fibras				
Módulo de Ruptura	14	5	2,92047	**
Módulo de Elasticidade	4473838	1674011	2,67253	**
Massa específica aparente	4855	881	5,50897	**
Lenho tardio	253	56	4,52869	**

F₀₅(19,134) = 1,66

F₀₁(19,134) = 2,05

** significativo a 99% de probabilidade

Os resultados médios para a resistência à compressão paralela às fibras obtidos nesse estudo para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, comparados aos apresentados pelo CENTRO TÉCNICO DE EVALUACION FORESTAL (1972), obtidos a partir da madeira de cinco árvores de *Pinus maximinoi* (ex *Pinus tenuifolia*) de idades entre 28 e 34 anos, no estado saturado, é similar para o módulo de ruptura que foi de 251,2 kgf.cm⁻² (24,72) MPa, e inferior no módulo de elasticidade, de 120000 kgf.cm⁻² (11767,9 MPa), para madeira com massa específica aparente média de 450 kg.m⁻³, não sendo apresentados dados sobre a madeira seca

Comparando-se os resultados da resistência à compressão paralela às fibras, determinados para as duas espécies neste estudo, com os de espécies do gênero *Pinus* plantadas no Brasil, observa-se que os resultados médios dos módulos de ruptura elasticidade

são inferiores aos apresentados por MUÑIZ (1993), que foram MOR de 365 kgf.cm^{-2} (35,8 MPa) e MOE de $92725 \text{ kgf.cm}^{-2}$ (9093 MPa) para a madeira juvenil de *Pinus taeda*, separada da madeira adulta de árvores de 30 anos, com massa específica aparente média de 453 kg.m^{-3} para a madeira juvenil. A autora determinou no mesmo estudo valores semelhantes para a madeira juvenil de *Pinus elliottii*, MOR 348 kgf.cm^{-2} (34,13 MPa), e $92467 \text{ kgf.cm}^{-2}$ (9067 MPa) para o MOE, coletado de forma similar ao de *Pinus taeda*, tendo determinado para a madeira adulta de ambas as espécies, valores médios superiores em torno de 1,7 vez maior para o MOE e 1,5 vez maior para o MOR.

LARA PALMA (1994), também estudando árvores com trinta anos de idade de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, determinou as propriedades de resistência à compressão paralela, em três posições no sentido medula casca. Na posição correspondente a madeira interna (juvenil) de *Pinus taeda* o MOR médio foi de 349 kgf.cm^{-2} e o MOE de $85386 \text{ kgf.cm}^{-2}$, massa específica aparente de 449 kg.m^{-3} , com coeficiente de variação de 26%.

Os valores médios de *Pinus elliottii* para a madeira interna de 285 kgf.cm^{-2} para o MOR e $56044 \text{ kgf.cm}^{-2}$, para o MOE, com coeficiente de variação de 43%, nas posições intermediária e externa (adulta) os valores médios obtidos para MOR e MOE foram aproximadamente 100% superiores para MOE e 80% para o MOR.

Observa-se neste estudo valores médios mais próximos dos determinados para *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, o contrário do estudo de MUÑIZ (1993), cujos valores foram consideravelmente superiores, o que provavelmente está relacionado as metodologias empregadas na preparação dos corpos de prova em cada estudo.

Já LUCAS FILHO (1997), obteve em seu trabalho com *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, de árvores com vinte e um anos de idade, da região de Três Barras-SC, valores médios para o MOR do lenho juvenil de 229 e 255 kgf.cm^{-2} (22,5 e 25,0 MPa) e de 262 e 378 kgf.cm^{-2} (25,7 e 37,1 MPa) para a madeira adulta nas duas espécies respectivamente, observa-se que os resultados para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda* (24,1 e 24,8 MPa) são superiores na madeira juvenil e ligeiramente inferiores a madeira adulta de *Pinus taeda*, diferença maior na madeira adulta de *Pinus elliottii*.

Os módulos de elasticidade desse estudo para as duas espécies mostram-se inferiores aos módulos de elasticidade da madeira juvenil apresentados por LUCAS FILHO, que foram de 89813 e $80893 \text{ kgf.cm}^{-2}$ para *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, bem como aos das madeiras

adultas que foram de 103269 e 141958 kgf.cm⁻² (10127 e 13921 MPa) para *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, respectivamente.

Ao se comparar os resultados das duas espécies estudadas com outras espécies do gênero *Pinus* plantadas no Brasil, como por exemplo aos resultados apresentados por BORTOLETTO JÚNIOR (1993), de árvores entre 10 e 25 anos de idade (*Pinus caribaea* var. *bahamensis*; *Pinus caribaea* var. *caribaea*; *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*), apresentaram valores médios para o módulo de ruptura entre 326 a 436 daN.cm⁻² em madeira seca e valores inferiores entre 199 a 217 daN.cm⁻² para madeira saturada, enquanto que o módulo de elasticidade, nas espécies tropicais variou entre 68373 a 109264 daN.cm⁻² (madeira seca) e 58075 a 82546 daN.cm⁻² (madeira saturada).

BORTOLETTO JÚNIOR, também apresenta os resultados para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, para as quais obteve MOR de 404 e 444 daN.cm⁻² para a madeira seca e 253 e 246 daN.cm⁻² para a madeira saturada. Já para o MOE, para *Pinus elliottii* de 114039 daN.cm⁻² para madeira seca e 100806 daN.cm⁻² para madeira saturada, e para *Pinus taeda* de 135824 daN.cm⁻² para a madeira seca e 109570 daN.cm⁻² para madeira saturada. As massas específicas aparentes médias apresentadas pelo autor, variaram nas espécies tropicais de 530 a 580 kg.m⁻³, sendo de *Pinus elliottii* igual a 560 kg.m⁻³ e de *Pinus taeda* de 640 kg.m⁻³.

Observa-se que após realizada a devida conversão de unidades para MPa, os resultados para os módulos de ruptura e de elasticidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda* observadas nesse estudo, apresentam-se inferiores aos apresentados para a madeira seca das espécies tropicais apresentadas por BORTOLETTO JÚNIOR (1993), em MOR, com exceção do módulo de elasticidade de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* que é similar; por outro lado são superiores aos MOR apresentados para a madeira saturada, e assemelham-se aos MOE médios da madeira saturada.

Comparando-se ainda os valores da resistência da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda* com os obtidos por KLOCK (1989), para *Pinus oocarpa* de 14 e 18 anos e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de 14 e 20 anos, da região de Agudos-SP, observa-se que os valores médios para o MOR nesse estudo são similares aos determinados para a madeira juvenil de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, que variou entre 242 kgf.cm⁻² e 284 kgf.cm⁻², e superior para o módulo de elasticidade que variou de 47573 a 60842 kgf.cm⁻², já os resultados apresentados para a madeira juvenil de *Pinus oocarpa* foram superiores em MOR (305 a 310 kgf.cm⁻²) e também inferiores em módulo de elasticidade (55892 a 64017 kgf.cm⁻²).

SANTINI et al. (2000), obtiveram módulos de ruptura e de elasticidade superiores aos determinados para *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda* deste estudo, para árvores com 13 anos de *Pinus taeda* e *Pinus elliotti*, (MOR de 291 e 292 kgf.cm⁻², e MOE de 87606 e 73531 kgf.cm⁻², respectivamente), não encontrando diferença estatística significativa entre as duas espécies de *Pinus*. Ressalta-se que os autores obtiveram resultados com tendência contrária, quando comparados aos obtidos neste estudo para *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, a resistência a flexão estática apresentada, foi inferior a de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*, ocorrendo o contrário para a compressão paralela as fibras.

As variações observadas entre os resultados apresentados para madeira juvenil, podem ser provavelmente atribuídas a diferentes metodologias empregadas pelos pesquisadores quando as árvores são de maior idade, na separação da madeira juvenil da considerada adulta; o que não ocorreu neste estudo em função da idade das árvores amostradas, bem como a própria variação que ocorre intra espécies e mesmo intra-árvores.

6.5.2.2 Correlações entre as Propriedades de Resistência à Compressão Paralela às Fibras e Massa Específica Aparente e Porcentagem de Lenho Tardio

As Figuras 47 e 48, ilustram graficamente as regressões lineares, a 95% de probabilidade, entre as propriedades de resistência à compressão paralela às fibras, módulo de ruptura e módulo de elasticidade, determinados para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, com a massa específica aparente e com a porcentagem de lenho tardio dos corpos de prova testados.

A Tabela 64, apresenta as equações lineares e correlações determinadas entre as propriedades de resistência à compressão paralela às fibras com a massa específica aparente e porcentagem de lenho tardio para a madeira juvenil das duas espécies estudadas.

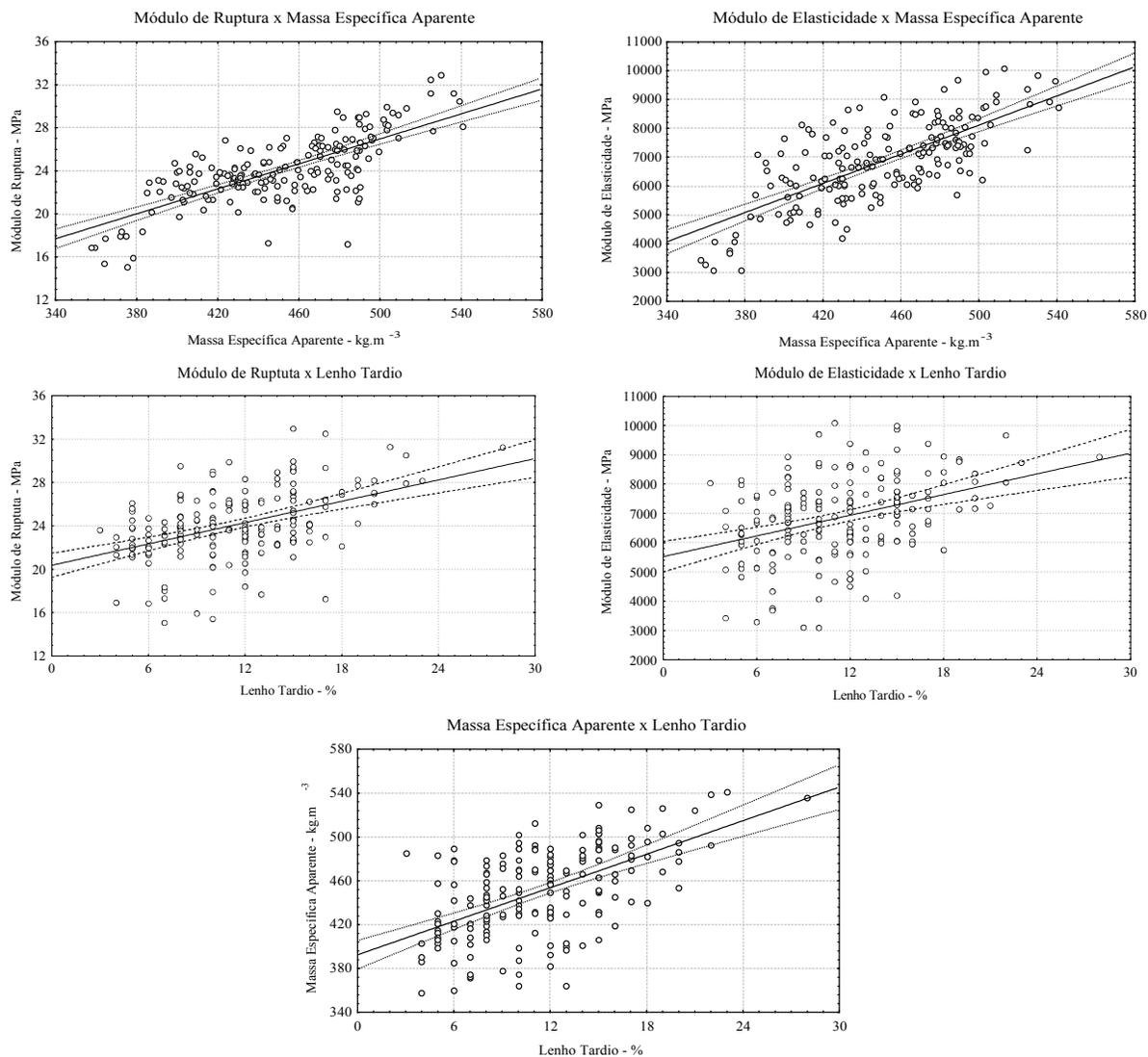


FIGURA 47 - REGRESSÕES LINEARES, A 95% DE PROBABILIDADE, DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi*,

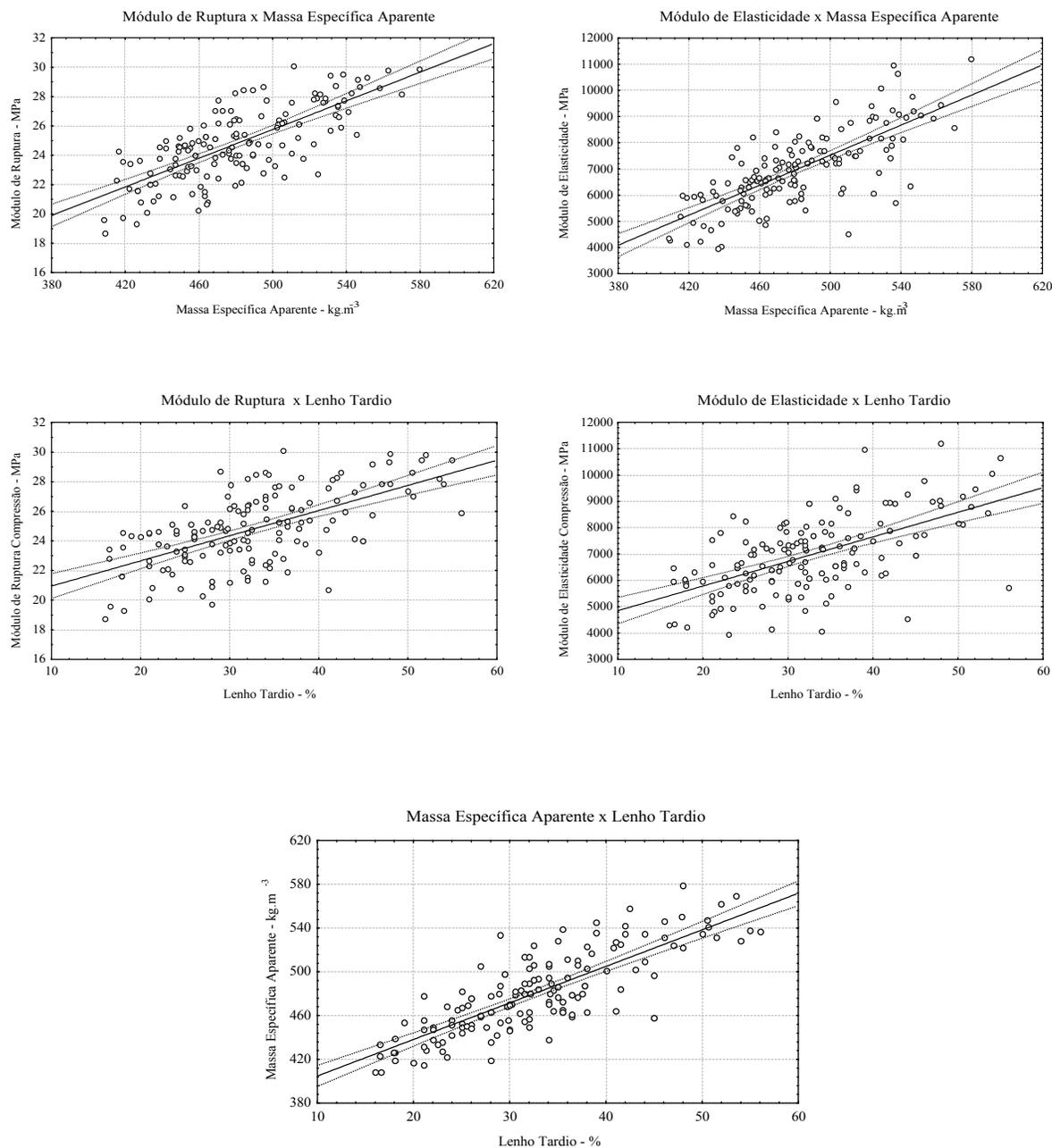


FIGURA 48 - REGRESSÕES LINEARES, A 95% DE PROBABILIDADE, DOS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS, COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus taeda*.

TABELA 64 - EQUAÇÕES LINEARES E CORRELAÇÕES DETERMINADAS PARA OS MÓDULOS DE RUPTURA E DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E COM A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*

<i>Pinus maximinoi</i>		<i>Pinus taeda</i>	
Equação	Correlação	Equação	Correlação
MOR = -2,027 + 0,05799 x ρ_{ap}	r = 0,7367 *	MOR = 1,3363 + 0,04883 x ρ_{ap}	r = 0,7590
12		12	*
MOR = 20,366 + 0,32795 x LT	r = 0,4652 *	MOR = 19,249 + 0,16999 x LT	r = 0,6214
LT			*
MOE = -4530, + 25,282 x ρ_{ap}	r = 0,7178 *	MOE = -6811 + 28,675 x ρ_{ap}	r = 0,7481
12			*
MOE = 5521,6 + 117,6 x LT	r = 0,3731 *	MOE = 3915,3 + 93,462 x LT	r = 0,5890
			*
ρ_{ap}	r = 0,5694 *	ρ_{ap}	r = 0,8068
12 = 392,50 + 5,0984 x LT		12 = 371,40 + 3,3405 x LT	*

MOR = módulo de ruptura em MPa

MOE = módulo de elasticidade em MPa

ρ_{ap} = massa específica aparente a 12%, em kg.m⁻³

LT = lenho tardio em %.

r = coeficiente de correlação linear

* = correlação significativa a 95% de probabilidade

As relações entre os módulos de ruptura e de elasticidade de compressão paralela às fibras, com a massa específica aparente e com a porcentagem de lenho tardio, determinados através de regressão linear simples a 95% de probabilidade, mostram correlações positivas e significativas, o que ocorre também entre a massa específica aparente e a porcentagem de lenho tardio dos corposde prova testados em compressão.

Observa-se altas correlações de 0,74 e 0,76 entre o módulo de ruptura e a massa específica aparente para as duas espécies, pouco inferiores aos verificados em flexão estática

(de 0,83 e 0,80 respectivamente); entre o módulo de elasticidade e massa específica aparente de 0,72 e 0,75; similar aos verificados em flexão estática para *Pinus maximinoi* e mais estreito para *Pinus taeda*, (0,64), demonstrando que em compressão a massa específica correlacionou-se menos intensamente no módulo de ruptura para as duas espécies, mas influenciou mais fortemente o módulo de elasticidade para *Pinus taeda*.

As altas correlações entre o módulo de elasticidade em compressão paralela às fibras, com a massa específica aparente para *Pinus maximinoi*, como também ocorreu em flexão estática, provavelmente influenciaram os valores médios do módulo de elasticidade para a madeira juvenil da espécie, que foi inferior em compressão, comparado ao observado em flexão estática, pois a massa específica média dos corpos de prova testados para a resistência à compressão apresenta-se também inferior.

A correlação diminui sensivelmente para as relações entre os módulos de ruptura e de elasticidade, com a porcentagem de lenho tardio para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, repetindo-se a tendência observada nas relações em flexão estática, o que já se esperava em função da alta variação da porcentagem de lenho tardio e de sua baixa correlação com a massa específica. Embora como se nota, nos corpos de prova de compressão, a correlação entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio para *Pinus maximinoi*, aumentou sensivelmente (0,57) quando comparada a observada nos corpos de prova de flexão estática (0,39).

A diferença na correlação observada pode estar relacionado com as dimensões dos corpos de provas de compressão, que possuem área transversal maior e provavelmente foram preparados em maior número com madeira mais próxima a casca, onde os anéis anuais de crescimento são relativamente mais largos do que os anéis mais centrais em *Pinus maximinoi*, aumentando em média sua proporção nos corpos de prova (11,4%) preparados para os ensaios de compressão paralela as fibras, comparados aos de flexão estática (6,5%).

A porcentagem de lenho tardio correlaciona-se mais fortemente em *Pinus taeda*, do que com *Pinus maximinoi*, com correlações de 0,62 para MOR e 0,58 para o MOE, nesse caso observa-se que a correlação entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio é bastante alta (0,81).

As observações anteriores, confirmam a alta influência da massa específica aparente sobre as propriedades de compressão, como também observado em flexão estática, já o lenho tardio isoladamente, exerce maior influência na madeira juvenil de *Pinus taeda* do que na de

Pinus maximinoi, embora tenha apresentado maior correlação em compressão do que em flexão estática, o que pode ser em razão de sua maior correlação com a massa específica nos corpos de prova ensaiados para esta espécie.

Correlações similares foram observadas por KLOCK (1989), entre os módulos de ruptura e elasticidade, e a massa específica aparente para a madeira interna (juvenil) de árvores com 14 e 18 anos de *Pinus oocarpa*, para as quais as correlações variaram entre 0,71 a 0,78 enquanto que para a madeira externa (adulta) as correlações se elevaram e variaram entre 0,84 e 0,89. No mesmo trabalho, as correlações observadas para os módulos de ruptura e de elasticidade com a massa específica aparente para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, de árvores com 14 e 20 anos de idade, separadas em lenho interno e externo foram inferiores no lenho interno (0,62 a 0,69) e superiores no lenho externo (0,76 a 0,85). As correlações observadas no trabalho de KLOCK (1989), quando combinados os lenhos internos e externos para os módulos de ruptura e de elasticidade com a massa específica elevaram-se para 0,90 nas duas espécies estudadas. O mesmo ocorreu na relação entre os módulos de ruptura e elasticidade com a porcentagem de lenho tardio, que foi de 0,87. O autor, determinou também correlações altas entre os módulos de ruptura e a porcentagem de lenho tardio para as duas espécies, só quando combinadas a madeira juvenil e adulta (0,74 e 0,75).

Correlações similares foram determinadas por LUCAS FILHO (1997), entre os módulos de ruptura e elasticidade com a massa específica aparente para a madeira de árvores com 21 anos de idade de *Pinus taeda* (0,69 e 0,73), enquanto em *Pinus elliottii* (0,42 e 0,69) as correlações para os módulos de ruptura e de elasticidade com a massa específica, foram menores. Entre os módulos de ruptura e de elasticidade com a porcentagem de lenho tardio, as correlações foram baixas e não significativas, com exceção do MOR em *Pinus elliotti*, cuja correlação com a porcentagem de lenho tardio foi de 0,33.

Já MUÑIZ (1993), em seu estudo com árvores de 30 anos de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, encontrou correlações bastante altas e próximas entre os módulos de ruptura e de elasticidade com a massa específica aparente, combinando madeira juvenil e adulta, para as duas espécies, que variaram entre 0,90 e 0,94 provavelmente em função da melhor distribuição das propriedades na madeira adulta.

As correlações lineares observadas entre as propriedades de resistência à compressão paralela às fibras das duas espécies, apresentam a mesma tendência observada por vários pesquisadores que obtiveram altas correlações positivas entre as propriedades de resistência e

a massa específica em espécies do gênero *Pinus*, segundo KOCH (1972); PEARSON & GILMORE (1980), entre outros.

Já a importância da porcentagem de lenho tardio isoladamente, conforme observado, é baixa na madeira de *Pinus maximinoi*, exercendo comparativamente maior influência na madeira juvenil de *Pinus taeda*, visto que apresenta alta correlação com a massa específica, e esta por sua vez com o MOR e MOE, confirmando a mesma tendência observada nas propriedades de resistência a flexão estática, portanto a porcentagem de lenho tardio isoladamente, não se apresenta como um bom indicador da resistência à compressão na madeira juvenil das espécies estudadas.

O que contraria a afirmação de KNIGGE & SCHULTZ (1966), pelo menos para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, que não apresenta forte correlação entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio, apresentando desta forma tendência diferenciada para a maioria das espécies de *Pinus* citadas na literatura.

Espera-se, contudo, que o aumento da idade e conseqüente proporção de madeira adulta, aumentem a influência da porcentagem de lenho tardio nas propriedades de resistência das duas espécies.

6.3.3 Resistência ao Cisalhamento

6.3.3.1 Resultados médios de resistência ao cisalhamento

Os resultados obtidos na determinação das propriedades de resistência ao cisalhamento, tensão máxima (τ_{\max}) nos sentidos de corte tangencial e radial da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda* são apresentadas na Tabela 65.

A Figura 49, ilustra as tensões máximas de cisalhamento nos sentidos tangencial e radial determinados para a madeira juvenil das duas espécies estudadas.

As Tabelas 66 e 67, apresentam os resumos das análises de variância realizadas para testar-se a hipótese de igualdade H_0 , para as tensões máximas de cisalhamento tangencial e radial entre a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*., bem como a massa específica aparente e a porcentagem de lenho tardio determinadas nos corpos de prova de cisalhamento tangencial e radial.

Observa-se, pelos resultados obtidos que, a tensão máxima de cisalhamento no sentido tangencial é 11% superior para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, diferença significativa estatisticamente, e o mesmo ocorre para a massa específica aparente e a porcentagem de lenho tardio nos corpos de prova testados, mas com valores menores do que *Pinus taeda*, rejeitando-se a hipótese de igualdade para a resistência ao cisalhamento no sentido tangencial que se apresenta superior para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, com massa específica menor e menor porcentagem de lenho tardio nos corpos de prova ensaiados.

TABELA 65 - RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL E RADIAL, MASSA ESPECÍFICA APARENTE, PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO E TEOR DE UMIDADE⁵ DETERMINADOS NOS CORPOS DE PROVA, DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*, 2000.

	τ_{\max}^1	Tangencial (MPa)	$\rho_{ap12,m}^2$ (kg.m ⁻³)	Lenho Tardio (%)	Teor de umidade (%)	N ³
<i>Pinus maximinoi</i>	Média	10,04	454,0	13,57	12,09	194
	Desvio Padrão	1,583	46,60	4,47	0,49	
	C.V. ⁴ (%)	15,8	10,3	32,9	4,05	
<i>Pinus taeda</i>	Média	9,38	483,5	31,32	12,25	162
	Desvio Padrão	1,695	37,69	7,80	0,40	
	C.V. ⁴ (%)	18,1	7,8	24,9	3,27	
	τ_{\max}^1	Radial (MPa)				
<i>Pinus maximinoi</i>	Média	8,25	451,5	14,47	12,11	162
	Desvio Padrão	1,117	43,12	6,75	0,48	
	C.V. ⁴ (%)	13,5	9,6	46,6	4,00	
<i>Pinus taeda</i>	Média	8,23	487,3	32,22	12,14	139
	Desvio Padrão	1,125	39,91	7,94	0,42	
	C.V. ⁴ (%)	13,7	8,2	24,6	3,32	

¹ τ_{\max} = tensão de cisalhamento máxima - MPa

² $\rho_{ap12,m}$ = massa específica aparente média a 12%, em kg.m⁻³

³N = número de corpos de prova.

⁴C.V. = coeficiente de variação

⁵Teor de umidade dos corpos de prova após acondicionamento em câmara climatizada em 20 ± 3 °C e 65 ± 2% de Umidade Relativa na realização do ensaio:

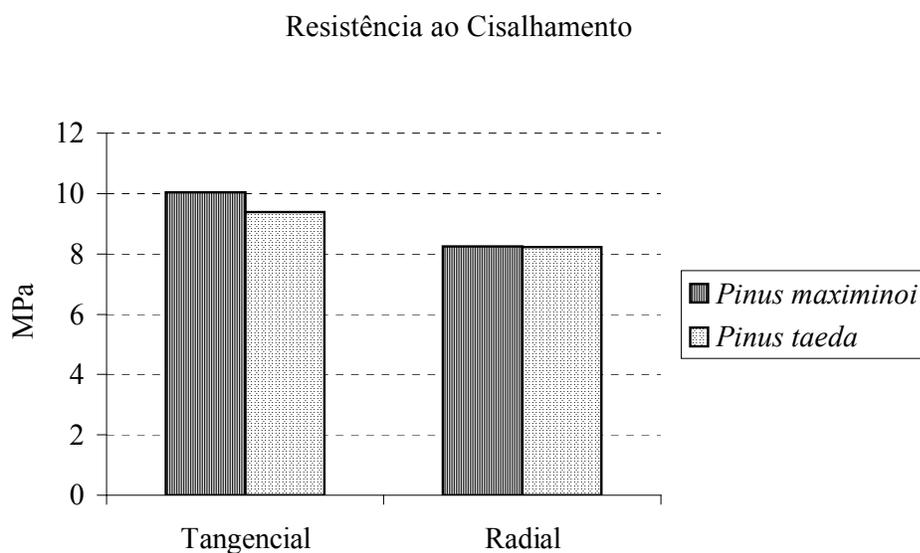


FIGURA 49 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA DE CISALHAMENTO TANGENCIAL E RADIAL, DETERMINADOS PARA O LENHO JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

TABELA 66 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS TENSÕES MÁXIMAS DE CISALHAMENTO TANGENCIAL, MASSA ESPECÍFICA APARENTE, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DETERMINADAS PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*

Propriedade	Quadrado Médio	Quadrado Médio	F (1,354)	
	Espécie	Erro		
Cisalhamento Tangencial	37,85	2,673	14,1586	**
Massa específica aparente	76734,99	1829,820	41,9358	**
Lenho tardio	27804,25	38,561	721,0393	**

$F_{05}(1,354) = 3,86$

$$F_{01}(1,354) = 6,71$$

** significativo a 99% de probabilidade

TABELA 67 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS TENSÕES MÁXIMAS DE CISALHAMENTO RADIAL, MASSA ESPECÍFICA APARENTE, E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DETERMINADAS PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*

Propriedade	Quadrado Médio	Quadrado Médio	F	
	Espécie	Erro	(1,299)	
Cisalhamento Radial	0,03	1,256	0,0249	n.s
Massa específica aparente	95952,73	1736,075	55,2699	**
Lenho tardio	23562,97	53,671	439,0281	**

$$F_{05}(1,299) = 3,87$$

$$F_{01}(1,299) = 6,73$$

n.s. = não significativo

** significativo a 99% de probabilidade

Para a tensão máxima de cisalhamento no sentido radial, entretanto, observa-se valores similares para a madeira juvenil das duas espécies, diferença estatisticamente não significativa, aceitando-se a hipótese de igualdade entre as duas espécies, porém com massas específicas aparentes médias e porcentagens de lenho tardio menores para os corpos de prova ensaiados de *Pinus maximinoi*. As diferenças entre estas propriedades são estatisticamente significativas.

Como as médias para a massa específica aparente não apresentaram grande diferença para ambas as espécies, pode-se inferir que a porcentagem de lenho tardio e sua distribuição nas faixas dos anéis anuais de crescimento devem ter influenciado os resultados da tensão máxima de cisalhamento na madeira juvenil de *Pinus taeda*, de tal forma que a tensão máxima tangencial fosse inferior, em função das diferenças existentes entre faixas de lenho inicial e tardio, o que pode ser verificado pelo maior coeficiente de variação para a tensão máxima tangencial (18,1%) em comparação à tensão máxima radial (13,7%), considerando-se que as porcentagens médias de lenho tardio são semelhantes entre si, bem como a variação entre estas, nos dois sentidos de ensaio da madeira.

Nota-se que, a massa específica aparente média determinada nos corpos de prova de cisalhamento tangencial e radial, são similares entre si na madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, como também para os corpos de prova de compressão paralela às fibras, todas as médias variando entre 450 e 454 kg.m⁻³, o que não ocorreu com os corpos de flexão estática, nos quais a massa específica aparente média é de 488 kg.m⁻³. A massa específica média dos corpos de prova da madeira juvenil de *Pinus taeda*, para os ensaios de resistência até aqui realizados, variaram, por sua vez, entre 480 e 489 kg.m⁻³.

Para a porcentagem média de lenho tardio nos corpos de prova de *Pinus maximinoi*, observa-se que os utilizados na resistência ao cisalhamento apresentam valores superiores aos de flexão estática, e também aos de compressão, o que pode significar que foram confeccionados, na sua maior parte, com porções de madeira juvenil mais próxima à casca. Nos corpos de prova de *Pinus taeda* os valores médios da porcentagem de lenho tardio mantiveram-se constantes, variando apenas entre 30 e 33%; os coeficientes de variação para ambas as espécies, entretanto, mantiveram-se bastante elevados para o lenho tardio.

A Tabela 68, apresenta o resumo das análises de variância realizadas entre as árvores amostradas das duas espécies, podendo-se observar a variação apresentada entre estas, para as resistências ao cisalhamento, massa específica aparente e porcentagem de lenho tardio.

Observa-se que, tanto para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* como para a de *Pinus taeda*, as propriedades de resistência ao cisalhamento, massa específica aparente e porcentagem de lenho tardio, variam de forma muito significativa entre as suas respectivas unidades amostrais (árvores). Pelo comparador F calculado pode-se verificar também que, a variação entre árvores para as propriedades analisadas foram sensivelmente superiores na madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, com exceção da porcentagem de lenho tardio. O que confirma, como observado para as propriedades anteriormente discutidas, a maior variabilidade entre a população amostrada de *Pinus maximinoi*.

Comparando-se os valores das tensões máximas de cisalhamento observados nesse estudo, com os apresentados na literatura para a madeira de espécies do gênero *Pinus*, observa-se que: o CENTRO TÉCNICO DE EVALUACION FORESTAL (1972), relaciona os seguintes valores médios de tensão máxima tangencial determinados no estado saturado para espécies tropicais do gênero *Pinus*, entre elas *Pinus maximinoi* (ex *Pinus tenuifolia*), *Pinus caribaea* e *Pinus oocarpa*: 63,9 - 78,6 e 72,5 kgf.cm⁻², respectivamente para as espécies citadas, que são inferiores aos determinados para as duas espécies estudadas.

TABELA 68 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DETERMINADAS PARA A MADEIRA JUVENIL ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*

<i>Pinus maximinoi</i>				
Propriedade	Quadrado Médio	Quadrado Médio	F(19,174)	
Característica	Árvores	Erro		
Cisalhamento Tangencial	20,27	0,7900	25,65797	**
Massa específica aparente	20135,89	436,2075	46,16127	**
Lenho tardio	71,13	15,0124	4,73829	**
			F(19,142)	
Cisalhamento Radial	9,78	0,2403	40,69889	**
Massa específica aparente	15536,10	244,3241	63,58807	**
Lenho tardio	238,45	22,8121	10,45293	**
<i>Pinus taeda</i>				
			F(19,142)	
Cisalhamento Tangencial	5,941	2,4876	2,388319	**
Massa específica aparente	5162,255	949,3208	5,437840	**
Lenho tardio	199,630	43,3982	4,599953	**
			F(19,119)	
Cisalhamento Radial	4,397	0,7959	5,524629	**
Massa específica aparente	6085,359	918,7812	6,623295	**
Lenho tardio	136,108	52,1579	2,609538	**
$F_{05}(19,174) = 1,67$	$F_{01}(19,174) = 2,06$			
$F_{05}(19,142) = 1,65$	$F_{01}(19,142) = 2,11$			
$F_{05}(19,119) = 1,66$	$F_{01}(19,119) = 2,04$			

** significativo a 99% de probabilidade.

BORTOLETTO JÚNIOR (1993), apresenta os seguintes valores médios para a tensão máxima de cisalhamento de espécies tropicais do gênero *Pinus*, com idades variando de 10 a

25 anos; para a madeira seca variação de 114 a 134 daN.cm⁻² e no estado saturado de 71 a 74 daN.cm⁻². No mesmo trabalho o autor apresenta resultados obtidos para *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, que foram de 129 e 123 daN.cm⁻² no estado seco, e de 71 e 71 daN.cm⁻² no estado saturado, respectivamente para as duas espécies; resultados superiores aos verificados para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda* nesse estudo, provavelmente em razão da maior idade das árvores naquele trabalho.

BORTOLETTO JÚNIOR (1999), determinou a tensão máxima média de cisalhamento tangencial de 114 kgf.cm⁻², para a madeira adulta de *Pinus taeda*, 10 árvores (tratamento testemunha) com 23 anos de idade, da região de Guarapuava-PR, que apresentaram massa específica média de 580 kg.m⁻³, cujo resultado embora superior ao da madeira juvenil de *Pinus taeda* deste estudo, assemelha-se ao de *Pinus maximinoi*, sendo entretanto pouco superior.

Já LUCAS FILHO (1997), trabalhando com *Pinus taeda* e *Pinus elliotti*, com 21 anos de idade da região de Três Barras-SC, determinou tensões máximas de cisalhamento para a madeira juvenil e adulta, nos sentidos tangencial e radial, obtendo valores médios de 61,13 e 60,4 kgf.cm⁻² para a madeira juvenil de *Pinus taeda* nos dois sentidos, e de 73,25 e 60,24 kgf.cm⁻² para a madeira adulta nos dois sentidos respectivamente; para *Pinus elliottii* os valores médios foram de 83,8 e 60,36 kgf.cm⁻² para a madeira juvenil e de 83,2 e 85,21 kgf.cm⁻² para a madeira adulta, nos dois sentidos de teste respectivamente. Ressalta-se que nesse trabalho o autor ensaiou os corpos de prova com teores de umidade da madeira variando entre 10 e 20%.

Desconsiderando-se a variação do teor de umidade, que provavelmente deve ter afetado os resultados apresentados por LUCAS FILHO, nota-se que os resultados determinados para a madeira juvenil das duas espécies aqui estudadas, foram superiores, comparados a madeira juvenil apresentada, bem como da madeira adulta, com exceção da tensão máxima radial da madeira adulta de *Pinus elliottii*.

BODIG & JAYNE (1993), citando o U.S. Forest Products Laboratory (1970), relacionam os valores estimados para o cisalhamento tangencial em corpos de prova livre de defeitos, de espécies do gênero *Pinus* importadas pelos Estados Unidos, por exemplo, após a conversão de unidades para MPa, tem-se para: *Pinus caribaea* - 12,89 MPa; *Pinus elliottii* - 11,93 MPa; *Pinus oocarpa* - 11,86 MPa e *Pinus palustris* de 10,34 MPa, entre outras. Observa-se que os resultados são superiores aos determinados para *Pinus maximinoi* e *Pinus*

taeda, porém as diferenças verificadas porcentualmente entre os valores citados na literatura não se apresentam tão grandes como para as propriedades de resistência à flexão estática e compressão paralela às fibras.

6.3.3.3 Correlações entre as propriedades de resistência ao cisalhamento, massa específica aparente e porcentagem de lenho tardio

As Figuras 50 e 51, mostram graficamente as regressões lineares a 95% de probabilidade determinadas entre as propriedades de resistência ao cisalhamento da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*, com a massa específica aparente a 12% de umidade e a porcentagem de lenho tardio dos corpos de prova testados.

A Tabela 69, apresenta as equações lineares e correlações determinadas entre as propriedades de resistência ao cisalhamento tangencial e radial com a massa específica aparente e com a porcentagem de lenho tardio, para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*.

Como se pode observar na Tabela 69, as correlações entre as tensões máximas de cisalhamento, tanto tangencial como radial, com a massa específica aparente para as duas espécies, se apresentam de forma direta, sendo entretanto inferiores as verificadas entre os módulos de ruptura à flexão estática e à compressão paralela às fibras, o que indica menor influência da massa específica sobre esta propriedade de resistência, embora sejam estatisticamente significativas.

Observa-se que a tensão máxima de cisalhamento da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* é mais influenciada pela massa específica que a madeira juvenil de *Pinus taeda*, o contrário acontece para a tensão máxima de cisalhamento no sentido radial. O que provavelmente ocorre pela maior homogeneidade da madeira de *Pinus maximinoi*, por apresentar os anéis anuais de crescimento mais homogêneos, enquanto que a madeira de *Pinus taeda*, por possuir maior porcentagem de lenho tardio, que se distribui em faixas nos anéis anuais de crescimento, alternando-se com as faixas de lenho inicial, menos densas, (observar espessura média dos traqueóides de lenho inicial), torna-se instável, e as forças de cisalhamento tendem a romper o corpo de prova, na faixa menos densa de lenho inicial.

Segundo BODIG & JAYNE (1993), há grande dificuldade em se obter resultados puros de cisalhamento na madeira, sendo que outras tensões podem atuar, como a compressão

por exemplo, especialmente em coníferas com anéis de crescimento, que se comportam como material composto devido a sua heterogeneidade.

SENTIDO TANGENCIAL

SENTIDO RADIAL

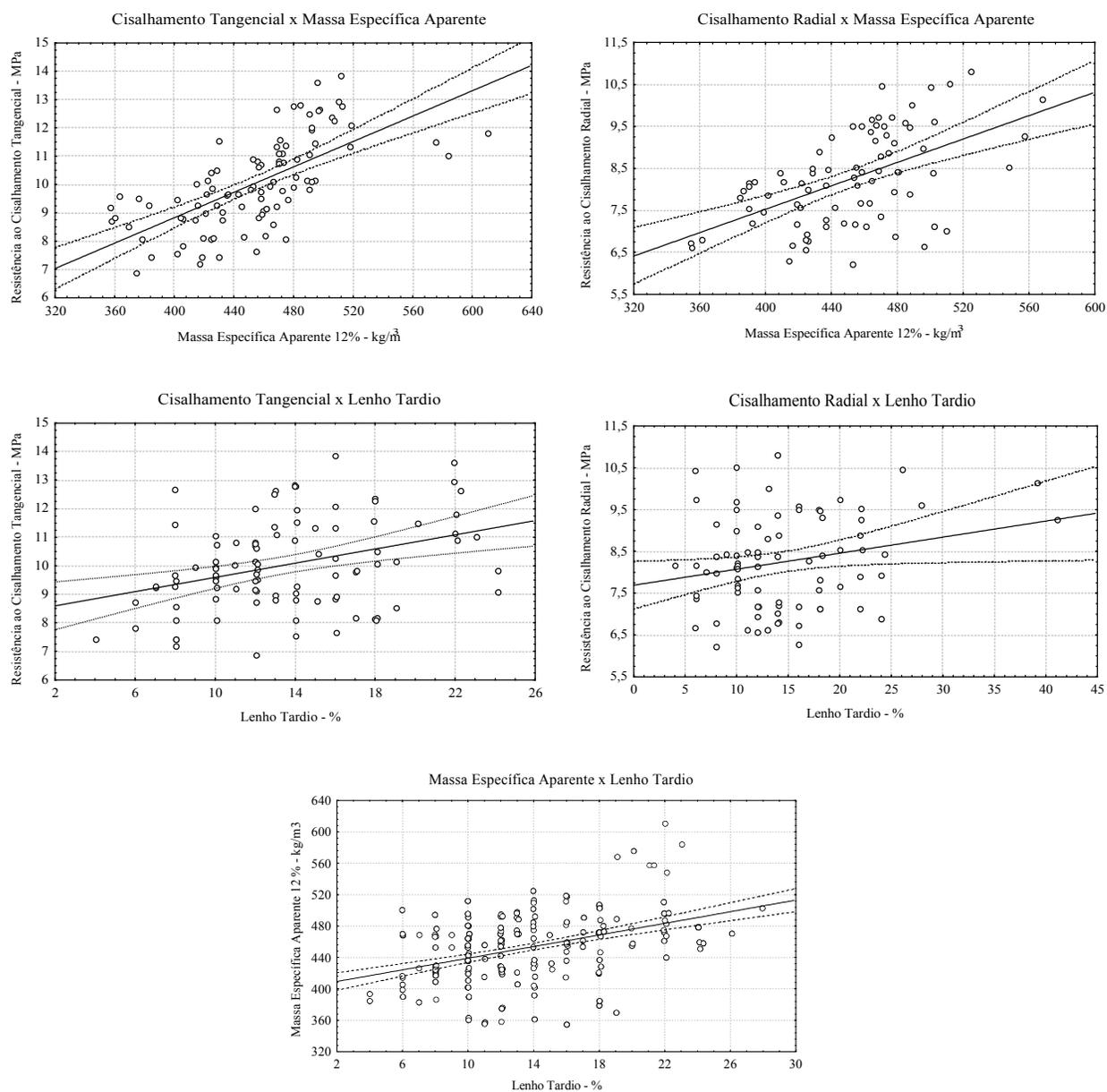
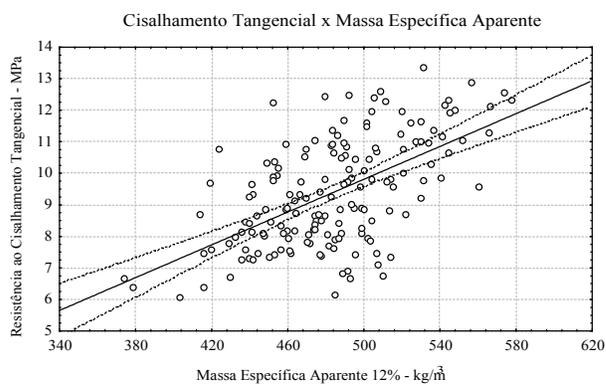


FIGURA 50 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE REGRESSÕES LINEARES A 95% DE CONFIANÇA DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL E RADIAL COM A MASSA ESPECÍFICA

APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi*

SENTIDO TANGENCIAL



SENTIDO RADIAL

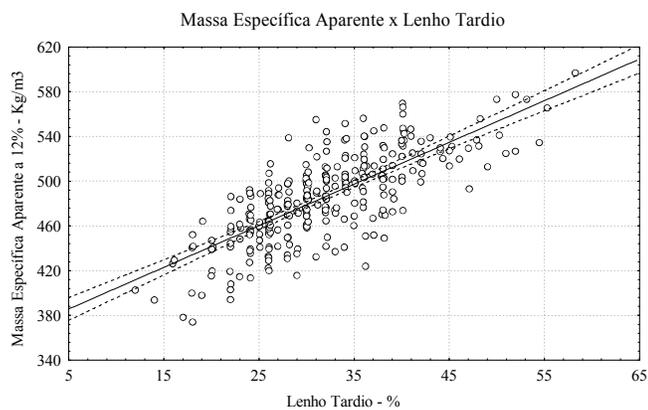
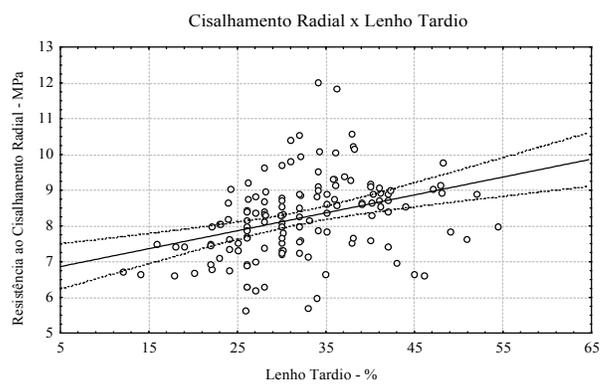
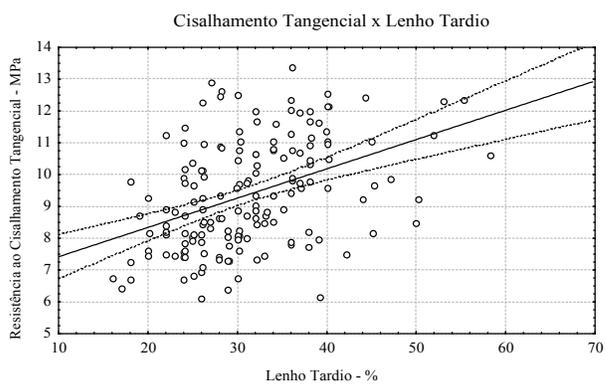
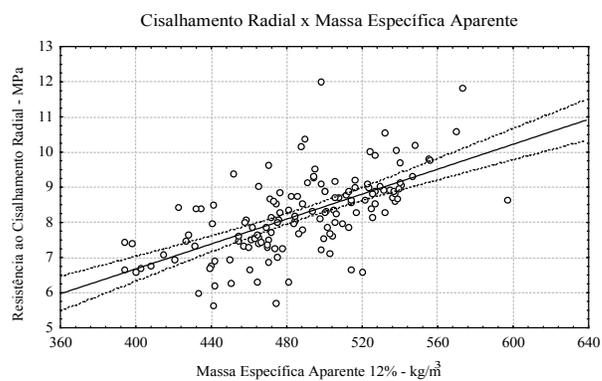


FIGURA 51 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE REGRESSÕES LINEARES A 95% DE CONFIANÇA DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL E RADIAL COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus taeda*.

TABELA 69 - EQUAÇÕES LINEARES E CORRELAÇÕES DETERMINADAS ENTRE AS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL E RADIAL, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*

<i>Pinus maximinoi</i>		<i>Pinus taeda</i>	
Equação	Correlação	Equação	Correlação
$\tau_{\max\text{tg}} = -0,1469 + 0,02243 \times \rho_{\text{ap}}_{12}$	$r = 0,660 *$	$\tau_{\max\text{tg}} = -3,187 + 0,026 \times \rho_{\text{ap}}_{12}$	$r = 0,578 *$
$\tau_{\max\text{tg}} = 8,3470 + 0,12454 \times \text{LT}\%$	$r = 0,3515 *$	$\tau_{\max\text{tg}} = 6,4968 + 0,09204 \times \text{LT}\%$	$r = 0,422 *$
$\tau_{\max\text{rd}} = 1,9506 + 0,01394 \times \rho_{\text{ap}}_{12}$	$r = 0,538 *$	$\tau_{\max\text{rd}} = -0,4161 + 0,01773 \times \rho_{\text{ap}}_{12}$	$r = 0,629 *$
$\tau_{\max\text{rd}} = 7,6901 + 0,03839 \times \text{LT}$	$r = 0,232 *$	$\tau_{\max\text{rd}} = 6,6111 + 0,05010 \times \text{LT}$	$r = 0,438 *$
$\rho_{\text{ap}}_{12} = 402,17 + 3,6267 \times \text{LT}$	$r = 0,454 *$	$\rho_{\text{ap}}_{12} = 367,08 + 3,7242 \times \text{LT}$	$r = 0,757 *$

$\tau_{\max\text{tg}}$ = tensão máxima de cisalhamento tangencial em MPa

$\tau_{\max\text{rd}}$ = tensão máxima de cisalhamento radial em MPa

ρ_{ap}_{12} = massa específica aparente a 12%, em kg.m^{-3}

LT = lenho tardio em %.

r = coeficiente de correlação linear

* = correlação significativa a 95% de probabilidade

As correlações verificadas entre as tensões de cisalhamento e a porcentagem de lenho tardio são relativamente baixas, embora estatisticamente significativas, indicando que a porcentagem de lenho tardio apresenta influencia sobre as tensões de cisalhamento, porém de forma menos acentuada que a massa específica.

A correlação entre a massa específica aparente e a porcentagem de lenho tardio determinada nos corpos de prova da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* (0,45), situa-se entre as verificadas nos corpos de prova de flexão estática (0,38) e de compressão paralela (0,56), e como já discutido, a correlação baixa, embora significativa, possivelmente esta relacionada a alta variação verificada na porcentagem média de lenho tardio na madeira juvenil de *Pinus maximinoi*. Já em *Pinus taeda*, a correlação entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio, apresenta a mesma tendência de alta correlação, já detectada nas determinações anteriores.

LUCAS FILHO (1997), em seu estudo com *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, observou correlações ainda mais baixas entre a massa específica e as tensões máximas de cisalhamento, para as duas espécies, observou para *Pinus taeda*, correlação significativa entre a massa específica aparente e a tensão máxima no sentido tangencial de 0,43; e correlação não significativa entre a massa específica e a tensão máxima no sentido radial. Para a madeira de *Pinus elliotti* observou tendência contrária, correlação significativa menor (0,35) entre a massa específica e a tensão máxima no sentido tangencial e correlação significativa mais estreita, de 0,54, entre a massa específica e a tensão máxima de cisalhamento no sentido radial.

Com base nestes resultados, o autor concluiu que a massa específica não é uma boa indicadora das propriedades de cisalhamento. Contudo, o mesmo observou altas correlações com o teor de umidade da madeira, o que pode ter influenciado negativamente a correlação com a massa específica, pois os corpos de prova foram testados com teores de umidade numa faixa entre 10 e 20 %.

LUCAS FILHO (1997), observou também no mesmo trabalho, correlações significativas entre a porcentagem de lenho tardio para *Pinus elliottii*, de 0,52 e 0,40, com as tensões máximas de cisalhamento nos sentidos tangencial e radial, respectivamente; enquanto que para a madeira de *Pinus taeda* as correlações determinadas não foram significativas.

Pelos resultados das correlações apresentadas, na madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, a tensão máxima de cisalhamento tangencial é mais influenciada pela massa específica aparente que a tensão máxima radial, já, a porcentagem de lenho tardio apresenta pouca influência nas propriedades de cisalhamento, bem como para madeira juvenil de *Pinus taeda*, porém com maior influência da porcentagem de lenho tardio que em *Pinus maximinoi*.

Observa-se também que, as propriedades de resistência ao cisalhamento são mais afetadas pela variabilidade encontrada na madeira juvenil dessas espécies, do que as resistências a flexão estática e à compressão paralela as fibras.

6.3.5 Propriedades de dureza

6.3.5.1 Resultados médios de dureza tangencial, radial e longitudinal

Os resultados obtidos na determinação da propriedade de dureza, nas faces tangencial, radial e extremos ou topos dos corpos de prova de madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda* são apresentados na Tabela 70, com seus respectivos desvios padrões e coeficientes de variação, a massa específica aparente e a porcentagem de lenho tardio, determinados nos corpos de prova ensaiados.

A Figura 52, ilustra graficamente os valores médios da dureza, nas faces tangencial, radial e topos, para a madeira juvenil das duas espécies estudadas.

A Tabela 71, apresenta o resumo das análises de variância realizadas para testar a hipótese H_0 , de igualdade das propriedades de dureza, massa específica aparente a 12% de umidade e porcentagem de lenho tardio, na madeira juvenil entre as espécies.

TABELA 70 - RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA A DUREZA NOS SENTIDOS TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL, MASSA ESPECÍFICA APARENTE MÉDIA, PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO E TEOR DE UMIDADE DOS CORPOS DE PROVA PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*, 2000.

Espécie	Dureza Tangencial	Dureza Radial	Dureza Longitudinal	$\rho_{ap12,m}^1$	Lenho Tardio	Teor de Umidade ⁴	N ²
Resultados	(N)	(N)	(N)	(kg.m ⁻³)	(%)	(%)	
<i>P. maximinoi</i>							
Média	2266	2492	3411	451,6	13,21	12,17	69
Desvio Padrão	521,5	562,4	615,0	41,52	5,35	0,34	
C.V. ³ (%)	23,0	22,6	18,0	9,2	40,5	4,45	
<i>Pinus taeda</i>							
Média	3038	3002	4259	486,6	35,1	12,24	91
Desvio Padrão	874,9	801,7	1001	40,22	9,90	0,35	

C.V. ³ . (%)	28,8	26,7	23,5	8,3	28,2	3,80
-------------------------	------	------	------	-----	------	------

¹ $\rho_{ap12, m}$ = massa específica aparente média a 12%, em kg.m^{-3}

²N = número de corpos de prova.

³C.V. = coeficiente de variação

⁴Teores médios de umidade dos corpos de prova após acondicionamento em câmara climatizada em 20 ± 3 °C e $65 \pm 2\%$ de Umidade Relativa no ensaio

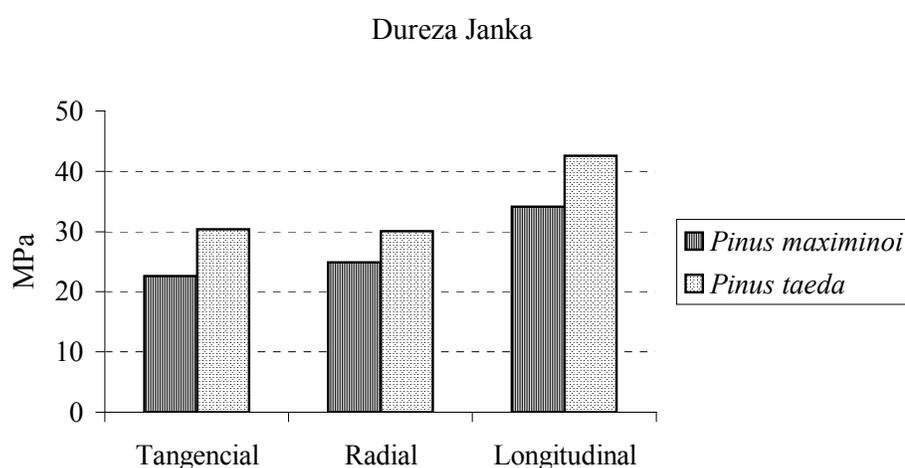


FIGURA 52 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS DUREZAS MÉDIAS TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

TABELA 71 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA AS DUREZAS TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, ENTRE A MADEIRA JUVENIL *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

Propriedade	Quadrado Médio	Quadrado Médio	F	
	Espécie	Erro		
Dureza Tangencial	2340,3	55,304	42,3164	**
Dureza Radial	1019,6	50,225	20,3011	**
Dureza Longitudinal	2818,9	73,331	38,4403	**

Massa específica aparente	47865,3	1663,538	28,7732	**
Lenho tardio	17191,1	70,665	243,2748	**

$F_{05}(1,158) = 3,91$

$F_{01}(1,158) = 6,81$

n.s. = não significativo

** = significativo a 99% de probabilidade

Os resultados médios de dureza obtidos para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, são inferiores aos determinados para *Pinus taeda*, em aproximadamente 25% na face tangencial, 17% na radial e 20% nos topos; as diferenças entre espécies são estatisticamente significativas.

O mesmo se verifica para a massa específica aparente e a porcentagem de lenho tardio determinadas nos corpos de prova ensaiados para a dureza, rejeitando-se portanto a hipótese de igualdade entre os valores médios das propriedades de dureza para a madeira juvenil das duas espécies, bem como da massa específica e porcentagem de lenho tardio.

Ao se comparar os resultados obtidos neste estudo para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*, observa-se que os valores médios são inferiores aos apresentados na literatura, como por exemplo os resultados apresentados por BORTOLETTO JÚNIOR (1993), que obteve em seu trabalho com espécies do gênero *Pinus*: (*Pinus caribaea* var. *bahamensis*; *Pinus caribaea* var. *caribaea*; *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; e *Pinus oocarpa*) plantadas no Estado de São Paulo, e com idades variando de 10 a 25 anos; valores médios de dureza tangencial (paralela); para a madeira seca de 464 a 556 daN.cm⁻² e no estado saturado de 269 a 292 daN.cm⁻². Os resultados obtidos para *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, foram de 543 e 503 daN.cm⁻² no estado seco, e de 312 e 295 daN.cm⁻² no estado saturado, respectivamente.

Observa-se que os resultados obtidos para a madeira juvenil das duas espécies utilizadas nesse estudo aproximam-se dos apresentados pelo autor para as madeiras no estado saturado. Já os valores bem superiores obtidos para a madeira seca das espécies citadas anteriormente, devem referir-se à madeira adulta, já que as massas específicas médias apresentadas para as espécies variam entre 530 e 640 kg.m⁻³, desta forma elevando os valores médios de dureza, o que é esperado em função das massas específicas aparentes elevadas em comparação a madeira juvenil.

Ressalta-se que, nas espécies de *Pinus* com altas massas específicas, espera-se encontrar alta porcentagem de lenho tardio, que por sua vez localiza-se em faixas distintas nos

anéis de crescimento, sendo a diferença na massa específica entre os lenhos inicial e tardio bastante elevados. Nos ensaios de dureza, as faixas de lenho tardio pela sua alta massa específica aumentam a resistência a penetração da semi-esfera metálica, o contrário acontece caso o corpo de prova apresenta na face a ser testada faixa de lenho inicial e em função destes aspectos, pode-se observar a alta variação (Tabela 70) nos resultados de *Pinus taeda*, que foram inclusive superiores aos de *Pinus maximinoi*.

Pode-se, ainda observar os valores médios de dureza tangencial, radial e longitudinal apresentados por CENTRO TÉCNICO DE EVALUACION FORESTAL (1972), determinados para espécies tropicais do gênero *Pinus*, entre as quais *Pinus maximinoi* (ex *Pinus tenuifolia*), *Pinus caribaea* e *Pinus oocarpa*, sendo os resultados apresentados para a madeira saturada, que foram para *Pinus maximinoi*: 211,5 - 209,9 - 254,7 kgf.cm⁻²; para *Pinus caribaea* : 344,8 - 385,0 - 359,0 kgf.cm⁻², e para *Pinus oocarpa* ; 296,0 - 298,0 - 319,0 kgf.cm⁻², para dureza tangencial, radial e longitudinal, respectivamente, as massas específicas aparentes para as espécies citadas foram de 450, 670 e 500 kg.m⁻³.

SANTINI et al. (2000), por exemplo, obtiveram durezas médias para a madeira de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, entre 252 a 302 kgf.cm⁻² para dureza tangencial, de 222 a 236 kgf.cm⁻², para dureza radial e 315 a 370 kgf.cm⁻², para dureza axial. Os autores observaram também altos coeficientes de variação. Nota-se, que os valores médios determinados para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* assemelha-se aos resultados apresentados, sendo apenas inferior na dureza tangencial, o que deve estar relacionado a sua maior homogeneidade, em função das faixas estreitas de lenho tardio. Já os valores determinados para *Pinus taeda*, apresentam-se superiores nas três direções testadas, inclusive para a madeira de *Araucaria angustifolia*.

A Tabela 72, apresenta o resumo das análises de variância realizadas entre as árvores amostradas das duas espécies, para se observar a variação apresentada entre estas, para as propriedades de dureza, a massa específica aparente e a porcentagem de lenho tardio. Observa-se pelos valores do comparador F calculado que, entre as árvores amostradas de *Pinus maximinoi*, a dureza tangencial, radial e longitudinal, além da massa específica aparente dos corpos de prova apresentam diferenças significativas na análise de variância, o que indica existir variação entre as médias por árvores amostradas. Pelo maior valor do comparador F calculado, as maiores variações ocorrem para a massa específica aparente, enquanto que para

a porcentagem de lenho tardio verifica-se apenas diferença significativa a 95% de probabilidade, o que indica menor variação desta característica entre as árvores amostradas.

As propriedades de dureza para a madeira juvenil de *Pinus taeda*, por sua vez, apresentam menor variação entre as árvores amostradas, a dureza tangencial apresenta diferença não significativa, indicando ser homogênea entre as amostras, e as durezas radial e longitudinal apresentam diferenças significativas entre as médias por árvore, já a massa específica aparente e a porcentagem de lenho tardio mostram diferenças significativas, indicando que variam mais que os valores de dureza, o que implica em correlações menos acentuadas entre essas propriedades e as de dureza.

TABELA 72 RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS PROPRIEDADES DE DUREZA, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DETERMINADAS PARA A MADEIRA JUVENIL ENTRE AS ÁRVORES AMOSTRADAS DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

<i>Pinus maximinoi</i>				
Propriedade	Quadrado Médio	Quadrado Médio	F	
	Espécie	Erro	(19,49)	
Dureza Tangencial	78,74	7,207	10,92473	**
Dureza Radial	83,66	11,457	7,30239	**
Dureza Longitudinal	109,69	9,957	11,01570	**
Massa específica aparente	5397,84	299,186	18,04176	**
Lenho tardio	46,52	21,652	2,14845	*

<i>Pinus taeda</i>				
Propriedade	Quadrado Médio	Quadrado Médio	F	
	Espécie	Erro	(19,71)	
Dureza Tangencial	108,79	67,914	1,601868	n.s.
Dureza Radial	111,33	51,679	2,154306	*
Dureza Longitudinal	150,41	86,711	1,734633	*
Massa específica aparente	4212,49	923,700	4,560451	**
Lenho tardio	246,16	58,317	4,221058	**

$F_{05}(19,49) = 1,80$

$F_{01}(19,49) = 2,30$

$F_{05}(19,71) = 1,728$

$F_{01}(19,71) = 2,246$

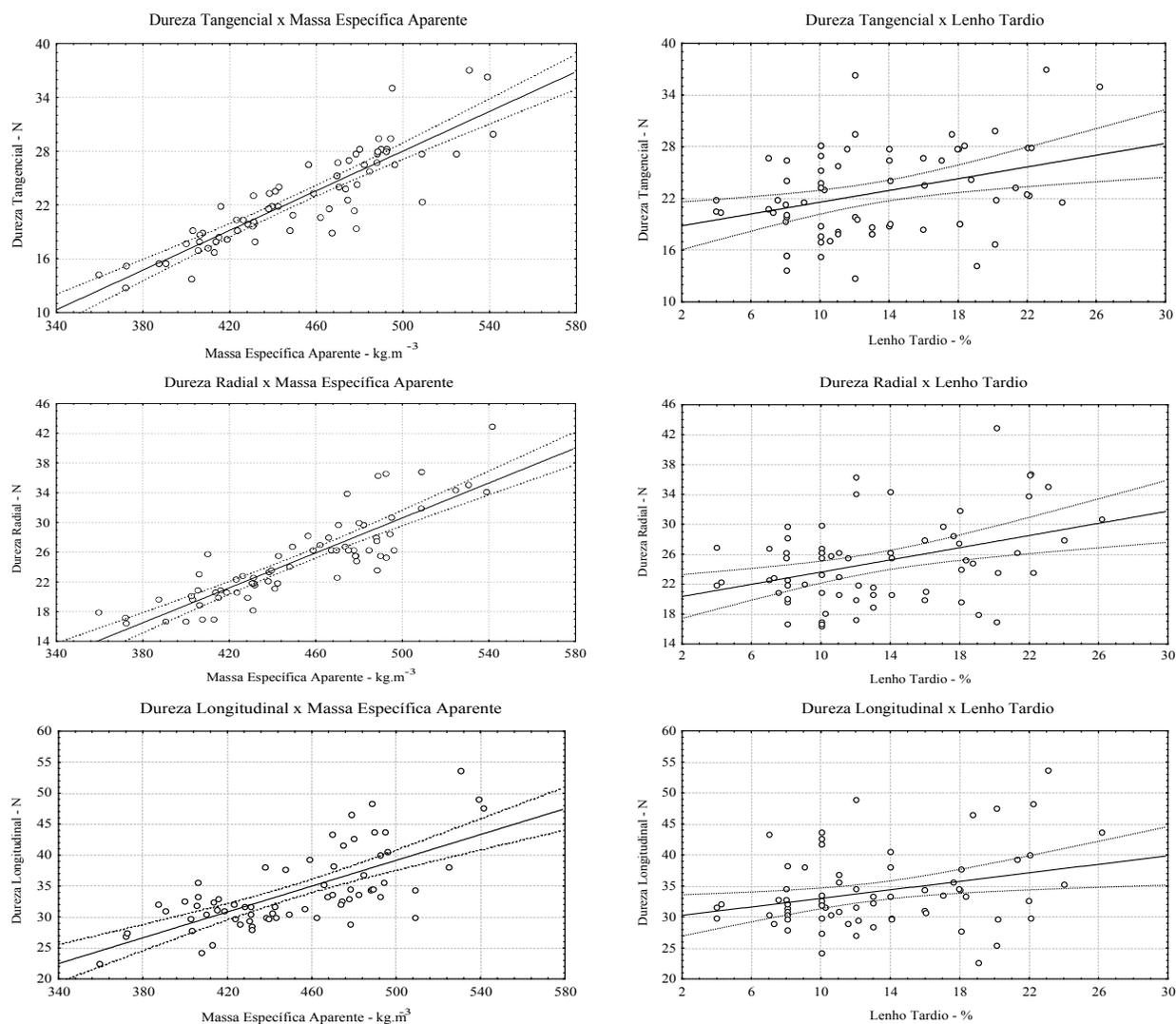
n.s. = não significativo

* = significativo a 95% de probabilidade

** = significativo a 99% de probabilidade

6.3.4.3 Correlações entre a dureza com a massa específica aparente e porcentagem de lenho tardio

As Figuras 53 e 54 apresentam graficamente as regressões lineares, a 95% de probabilidade, entre as durezas nas orientações tangencial, radial e longitudinal, com a massa específica aparente e a porcentagem de lenho tardio obtidas para os corpos de prova testados, da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*.



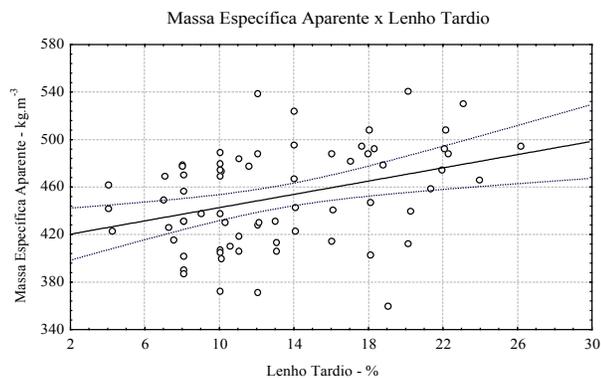
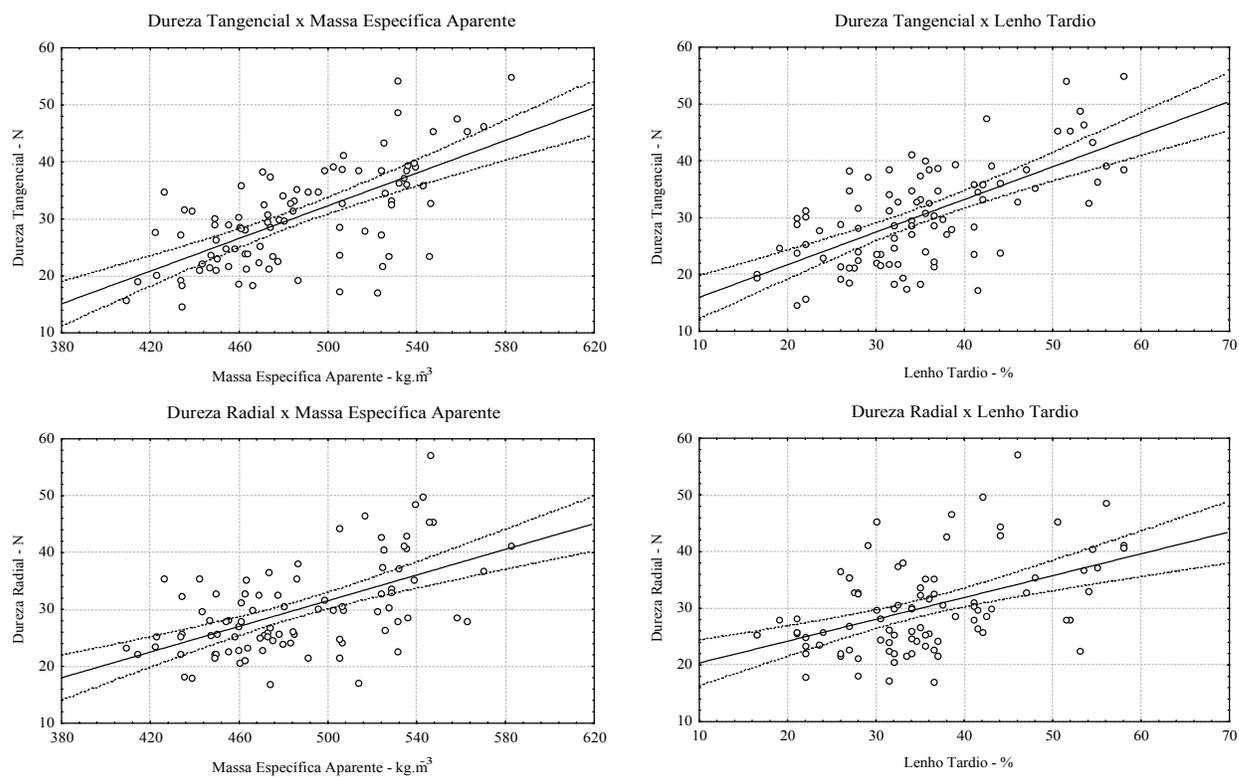


FIGURA 53 - REGRESSÕES LINEARES, A 95% DE PROBABILIDADE, DAS PROPRIEDADES DE DUREZA, COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi*.



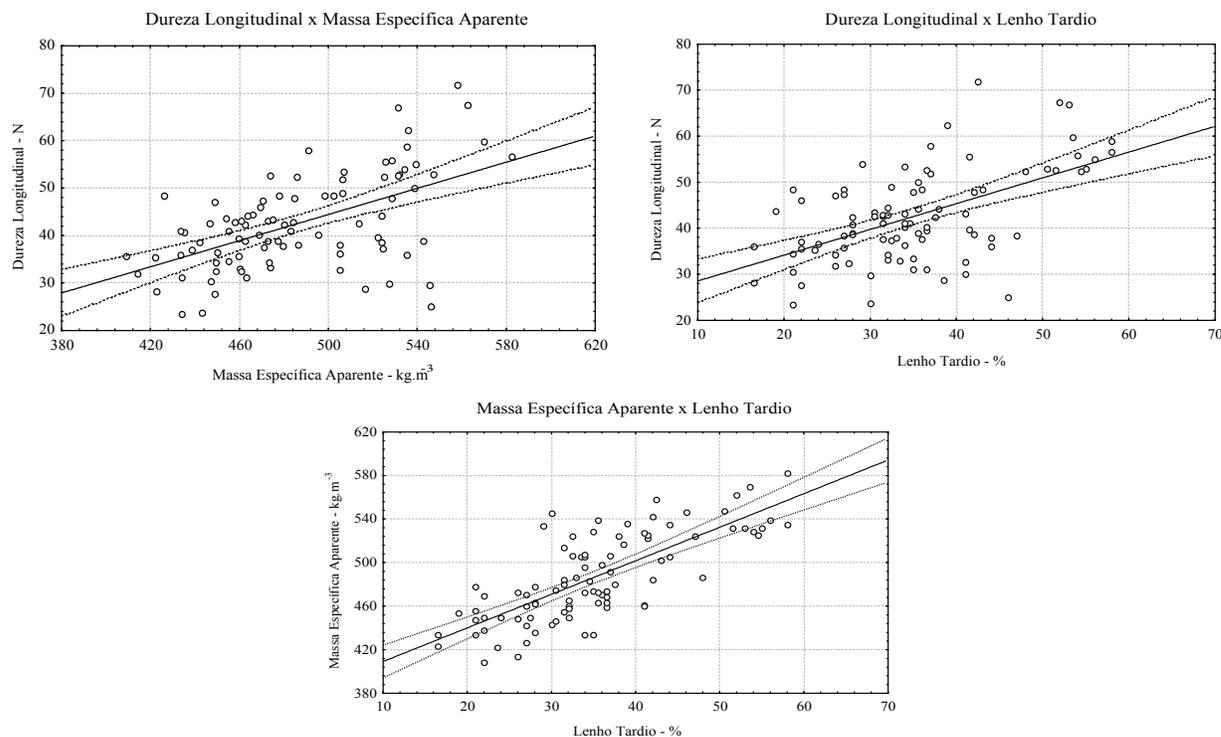


FIGURA 54 - REGRESSÕES LINEARES A 95% DE PROBABILIDADE, DA DUREZA COM A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus taeda*.

A Tabela 73, apresenta as equações lineares e correlações determinadas entre as durezas tangencial, radial e longitudinal, com a massa específica aparente e porcentagem de lenho tardio para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*.

Nota-se que as correlações existentes entre as propriedades de dureza com a massa específica aparente e a porcentagem de lenho tardio são positivas, e todas estatisticamente significativas.

Observa-se que as propriedades de dureza tangencial (0,88) e radial (0,87) da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* se correlacionam fortemente com a massa específica aparente, o mesmo acontecendo com a dureza longitudinal, porém de forma menos acentuada (0,70).

As correlações observadas entre as propriedades de dureza e a porcentagem de lenho tardio na madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, em relação à massa específica aparente apresentam-se de forma menos acentuada, embora estatisticamente significativas, observa-se que a correlação entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio também é baixa.

TABELA 73 EQUAÇÕES LINEARES E CORRELAÇÕES DETERMINADAS ENTRE AS DUREZAS TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL, COM A MASSA

ESPECÍFICA APARENTE E PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO PARA
A MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*

<i>Pinus maximinoi</i>		<i>Pinus taeda</i>	
Equação	Correlação	Equação	Correlação
DTg = - 27,33 + 0,11069 x ρ_{ap} 12	r = 0,8813*	DTg. = - 39,37 + 0,14336 x ρ_{ap} 12	r = 0,6591 *
DRad = - 28,15 + 0,11751 x ρ_{ap} 12	r = 0,8675 *	DRad = - 24,93 + 0,11292 x ρ_{ap} 12	r = 0,5665 *
DLong = -12,95 + 0,1042 x ρ_{ap} 12	r = 0,7035 *	DLong = - 24,49 + 0,1378 x ρ_{ap} 12	r = 0,5541 *
DTg = 18,153 + ,34097 x LT	r = 0,3497 *	DTg = 10,197 + 0,57506 x LT	r = 0,6506 *
D Rad = 19,532 + ,40764 x LT	r = 0,3876 *	D Rad = 16,496 + 0,38519 x LT	r = 0,4756 *
DLong = 29,577 + ,34333 x LT	r = 0,2986 *	DLong. = 22,931 + 0,56006 x LT	r = 0,5539 *
ρ_{ap} 12 = 414,79 + 2,7893 x LT	r = 0,3593 *	ρ_{ap} 12 = 378,39 + 3,0820 * LT	r = 0,7584 *

DTg = Dureza tangencial em N

D Rad = Dureza radial em N

DLong = Dureza longitudinal em N

ρ_{ap} 12 = massa específica aparente a 12%, em kg.m⁻³

LT = lenho tardio em %.

r = coeficiente de correlação linear

* = correlação significativa a 95% de probabilidade

Dessa forma, confirma-se que a porcentagem de lenho tardio exerce baixa influência nas propriedades de resistências mecânicas, incluída a dureza da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e, por sua vez a massa específica aparente exerce grande influência na dureza, principalmente nos sentidos tangencial e radial, bem como confirma a sua importância na estimativa das propriedades de resistência mecânica da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*.

Na madeira de *Pinus taeda*, as durezas tangencial, radial e longitudinal, apresentam correlações inferiores (0,65 a 0,55) às de *Pinus maximinoi*, indicando menor influência da

massa específica sobre essas propriedades. A porcentagem de lenho tardio se correlaciona praticamente na mesma intensidade, com exceção da dureza radial, para a qual a correlação é inferior (0,48). Essa similaridade nas correlações deve estar relacionada à forte correlação existente entre a massa específica aparente e a porcentagem de lenho tardio na madeira juvenil de *Pinus taeda*, que é confirmada nos corpos de prova de dureza (0,75).

De acordo com os resultados obtidos para a dureza da madeira juvenil das duas espécies, observa-se que a dureza na madeira juvenil de *Pinus maximinoi* é altamente influenciada pela massa específica aparente, enquanto que a porcentagem de lenho tardio apresenta influência bem menos acentuada; em comparação, a madeira juvenil de *Pinus taeda* se apresenta com durezas superiores nos três sentidos de orientação, sendo as propriedades de dureza influenciadas de forma semelhante pela massa específica aparente e pela porcentagem de lenho tardio.

Estas diferenças provavelmente estão relacionadas com a distribuição do lenho inicial e tardio nos corpos de prova, sendo a madeira de *Pinus maximinoi* mais homogênea, seus anéis anuais de crescimento com faixas estreitas de lenho tardio, estes exercendo pouca influência sobre a dureza, que é, portanto, influenciada mais fortemente pela massa específica, independente do lenho tardio; já a madeira juvenil de *Pinus taeda* apresenta anéis anuais de crescimento com faixas largas de lenho tardio, intercaladas de lenho inicial com menores massas específicas. Esta distribuição das faixas de lenho inicial e tardio nos corpos de prova provavelmente acarretam os maiores coeficientes de variação observados nos valores médios de dureza e, por conseqüência diminuem as correlações entre as propriedades.

6.5 PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA

6.5.1 Resultados das determinações químicas quantitativas da madeira juvenil

Os resultados obtidos na determinação da composição química quantitativa da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, são apresentados na Tabela 74.

TABELA 74 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA QUANTITATIVA MÉDIA DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*, 2000.

Espécie	Solubilidade em água fria (%)	Solubilidade em água quente (%)	Solubilidade em NaOH 1% (%)	Extrativos em álcool-benzeno (%)	Extrativos totais (%)	Teor de Lignina (%)	Teor de holoceleulose (%)	Teor de cinzas (%)	N
<i>Pinus maximinoi</i>	1,84	2,92	9,90	2,06	3,72	28,70	67,5	0,17	15
<i>Pinus taeda</i>	1,80	2,44	8,90	1,65	3,03	28,76	68,0	0,22	15

Os coeficientes de variação entre as repetições para todas as determinações estão dentro dos requisitos das normas técnicas e variaram entre 0,1 a 1,0%.

N = número de repetições

De forma geral os valores médios determinados nas análises químicas de solubilidade da madeira e da determinação do teor de extrativos em álcool benzeno e extrativos totais foram superiores para *Pinus maximinoi*, como pode ser observado nas Tabelas 74 e 75, que apresentam os resultados médios e os resumos do teste "t" de *Student*, as diferenças foram significativas estatisticamente, com exceção da solubilidade da madeira em água fria cuja diferença não é significativa, rejeitando-se a hipótese de igualdade entre estas características químicas da madeira juvenil entre as duas espécies.

O contrário se verificou para o teor de cinzas, que é menor na madeira de *Pinus maximinoi*, com diferença estatisticamente muito significativa, rejeitando-se também a hipótese de igualdade entre esta característica química da madeira juvenil entre as duas espécies.

Os teores médios de lignina e de holoceleulose determinados na madeira juvenil são ligeiramente inferiores para *Pinus maximinoi*, porém as diferenças não são significativas, aceitando-se a hipótese de igualdade entre as espécies, considerando-se que os teores de lignina e de holoceleulose da madeira juvenil são os mesmos para as duas espécies.

Os resumos dos testes "t" de *Student* aplicado para comparar os valores médios das análises realizadas entre as duas espécies, são apresentadas na Tabela 75.

TABELA 75 - RESUMO DOS TESTES "t" DE *STUDENT* PARA AS CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA JUVENIL ENTRE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*

Característica/ Propriedade	g.l. ¹	t	
Solubilidade em água fria	29	1,99	n.s.
Solubilidade em água quente	29	46,5	**
Solubilidade em NaOH 1%	29	49,8	**
Extrativos em álcool-benzeno	29	37,3	**
Extrativos totais	29	320,2	**
Teor de Lignina	29	-2,00	n.s.
Teor de holocelulose	29	-1,51	n.s.
Teor de cinzas	29	-43,4	**

¹g.l. = graus de liberdade

t₀₅(29) = 2,045

t₀₁(29) = 2,756

n.s. = não significativo

** = significativo a 99% de probabilidade

Comparando-se os resultados obtidos das análises químicas realizadas nesse estudo para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*, com outras espécies do gênero *Pinus*, observa-se por exemplo, os resultados apresentados por FOELKEL (1976), para algumas espécies de coníferas: *Araucaria angustifolia* de idade indeterminada; *Pinus elliottii* com 8 anos; *Pinus taeda* com 11 anos; *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 8 anos; todas plantadas no Brasil, e ainda com *Pinus elliottii* de 18 anos e *Pinus taeda* de 16 anos, essas plantadas nos Estados Unidos; cujos resultados variam em média, para a solubilidade em água fria de 1,3 a 1,8%, em água quente de 1,8 a 2,9%, em NaOH a 1%, de 7,1 a 11,0%, em álcool benzeno, de 1,7 a 4,8%, o teor de lignina de 27,2 a 29,8 %, e porcentagem de cinzas de 0,3 a 0,4%. Isoladamente a madeira de *Pinus taeda*, apresentou 1,8% e 2,7% de solubilidade em água fria e quente, 8,0% de solubilidade em NaOH 1%, e 2,1% em álcool benzeno, o teor de lignina de 28,8% e teor de cinzas de 0,4%.

Observa-se que, os valores determinados para as duas espécies situam-se entre as faixas de variações apresentadas pelas espécies estudadas por FOELKEL, e os resultados de *Pinus taeda* são bastante similares, com exceção do teor de cinzas que é inferior nesse estudo, que pode ser explicado pela diferença no sítio de crescimento das árvores, pela época de corte, entre outros fatores. Segundo FENGEL & WEGENER (1989), o teor e a composição do

material inorgânico encontrado na madeira, dependem das condições ambientais sob as quais a árvore cresce e da localização do mineral na planta.

Em geral madeiras crescendo naturalmente em zonas temperadas contém de 0,2 a 0,9% e quase sempre menos de 0,5% de cinzas, enquanto que madeiras de zonas tropicais podem conter até 5% de cinzas (BROWNING, 1967; WENZL, 1970 e FENGEL & WEGENER, 1989).

MUÑIZ (1993), obteve valores médios de solubilidade em água quente e em álcool benzeno superiores (4,71% e 4,65%) para a madeira juvenil de *Pinus taeda*, separados da madeira adulta, de 10 árvores com trinta anos de idade, da região de Irati-PR, que por sua apresentaram valores médios de 2,25 e 2,22% para as respectivas solubilidades. A autora determinou no mesmo estudo valores semelhantes para a madeira juvenil e adulta de *Pinus elliottii*.

Os altos valores da solubilidade dos extrativos na madeira juvenil, foram atribuídos pela autora, à formação de cerne, onde naturalmente se acumula maior concentração de extrativos, e também se concentra uma maior quantidade de resina. O que está em concordância com a afirmação de FENGEL & WEGENER (1989), que o conteúdo de extrativos, pode elevar-se de 4 para 12-14% no cerne, nas espécies do gênero *Pinus*.

Observa-se que os valores médios determinados nesse trabalho são inferiores aos obtidos por MUNIZ (1993), em razão da madeira juvenil das árvores amostradas não apresentarem cerne.

BORTOLETTO JÚNIOR (1999), determinou para a madeira adulta de *Pinus taeda*, 10 árvores (tratamento testemunha) com 23 anos de idade, da região de Guarapuava-PR, solubilidade média de extrativos em água fria de 2,1%, solubilidade em NaOH a 1% de 12,2%, teor de extrativos totais de 3,3%, teor de lignina de 27,1% e teor de holocelulose de 69,6%.

Os valores médios da madeira juvenil de *Pinus taeda* aproximam-se dos resultados médios apresentados por BORTOLLETO JÚNIOR (1999), com diferenças possivelmente inerentes a idade, localização geográfica, época do corte, entre outras.

Os resultados médios determinados para as características químicas da madeira juvenil das duas espécies nesse estudo situam-se na faixa de variação dos resultados apresentados por IPT (1988), para as espécies do gênero *Pinus* plantadas no Brasil, e também aos apresentados por RYDHOLM (1965), para *Pinus elliottii*, do sul dos Estados Unidos.

Dos resultados obtidos e comparados na literatura, pode-se verificar que a composição química quantitativa da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*, encontram-se dentro da variação observada para espécies do gênero, sendo que as duas espécies apresentam os teores de lignina, holocelulose e solubilidade da madeira em água fria semelhantes, enquanto que a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresenta menor teor de cinzas e de forma geral maior teor de extrativos.

6.6 PROPRIEDADES DA CELULOSE E PAPEL

6.6.1 Propriedades da celulose e papel feito a mão produzida com a madeira juvenil

Os resultados médios obtidos para as características da celulose produzida em laboratório pelo processo *Kraft*, com a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, são apresentados na Tabela 76.

TABELA 76 - RENDIMENTO MÉDIO BRUTO, TEOR DE REJEITOS E NÚMERO KAPPA MÉDIO DAS CELULOSES OBTIDAS EM LABORATÓRIO PELO PROCESSO *KRAFT*, DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*, 2000.

Espécie	Rendimento Bruto %	Teor de Rejeitos %	Número <i>Kappa</i>
<i>Pinus maximinoi</i>	45,26	0,20	31,74
<i>Pinus taeda</i>	45,76	0,81	32,56

Obs.: Os coeficiente de variação entre repetições variaram entre 0,1 e 0,7%.

Observa-se que os rendimentos médios obtidos nos cozimentos experimentais foram semelhantes entre as duas espécies, e com valores normais para coníferas quando tratadas pelo processo *Kraft*, cuja faixa de variação em rendimento, dependendo das condições varia entre 40 e 50% (SMOOK, 1989).

Os números *Kappa* médios foram ligeiramente superiores aos propostos, porém variaram dentro dos limites aceitáveis na experimentação e,

os teores de rejeitos, foram bastante baixos, demonstrado que as duas espécies responderam bem as condições de cozimento, embora estatisticamente a diferença é significativa.

A Tabela 77, apresenta os resultados médios das propriedades de resistência mecânicas e densidade aparente determinadas para as folhas de papel feitas a mão, a partir da celulose *Kraft* produzida em laboratório com a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*, por tratamentos de refinação em moinho *Jokro*.

As Figuras 55 a 56, ilustram graficamente, o comportamento do Índice de Rasgo, do Índice de Estouro, e do comprimento médio de auto ruptura do papel feito a mão, a partir da celulose *Kraft* da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*, obtida em laboratório, para os tratamentos de refinação em moinho *Jokro*, a 150 rpm: sem refino, 20 minutos - 40 minutos e 60 minutos.

TABELA 77 - PROPRIEDADES DAS FOLHAS DE PAPEL FEITAS A MÃO, A PARTIR DA CELULOSE *KRAFT* OBTIDA EM LABORATÓRIO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*, 2000.

Pinus maximinoi

Tratamento ¹	Gramatura (g.m ⁻²)	Índice de Rasgo (mN.m ² .g ⁻¹)	Índice de estouro (kPa.m ² .g ⁻¹)	Comprimento auto ruptura (km)	Densidade aparente (g.cm ⁻³)
Sem Refino	62,2	22,96	1,83	3,21	0,416
20 minutos	60,7	19,58	3,78	6,05	0,586
40 minutos	59,1	13,68	4,22	6,83	0,630
60 minutos	58,2	11,21	4,23	6,98	0,686
<i>Pinus taeda</i>					
Sem Refino	61,6	23,96	2,13	3,63	0,387
20 minutos	60,1	19,76	4,01	5,96	0,588
40 minutos	57,9	15,88	4,20	6,41	0,622
60 minutos	56,9	12,31	4,00	6,47	0,663

Obs.: Coeficientes de variação entre as repetições variaram abaixo dos requerimentos das normas técnicas, variando entre 0,2 e 1,1%.

¹ Refinação em moinho laboratorial *Jokro* a 150 rpm.

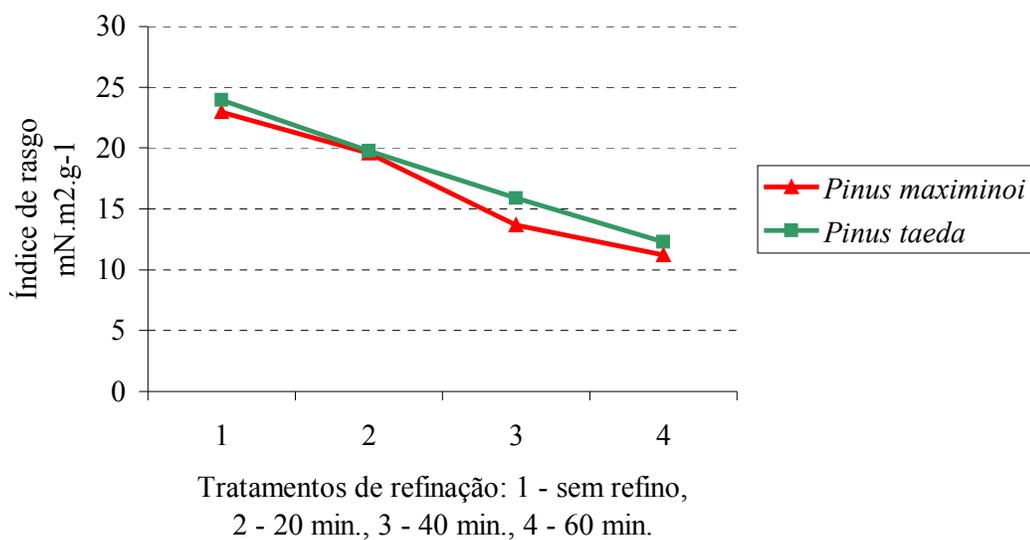


FIGURA 55 - ÍNDICE DE RASGO DO PAPEL FEITO A MÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE REFINO DA CELULOSE KRAFT DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*

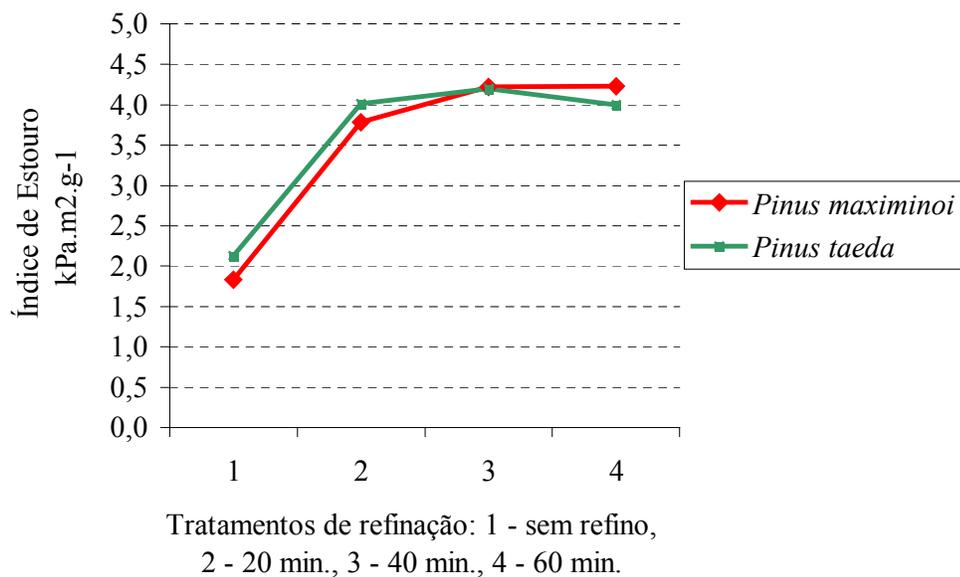


FIGURA 56 - ÍNDICE DE ESTOURO DO PAPEL FEITO A MÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE REFINO DA CELULOSE KRAFT DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

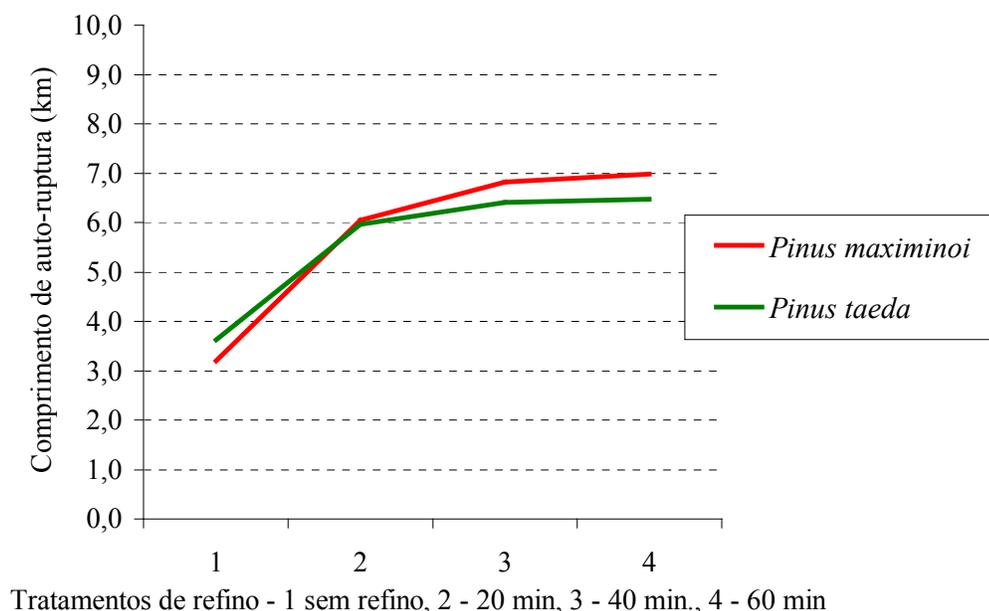


FIGURA 57 - COMPRIMENTO DE AUTO RUPTURA DO PAPEL FEITO A MÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE REFINO DA CELULOSE KRAFT DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

Observa-se na Tabela 77, que a gramatura decresce com os tratamentos de refino, em razão da formação de partículas muito finas, que ocorre no processo de moagem das fibras (traqueóides), e são perdidas na formação das folhas feitas a mão em laboratório, através da tela de formação.

Em virtude da variação da gramatura, com os tratamentos de refinação da celulose, apresenta-se os resultados médios das resistência mecânicas do papel, como índices de rasgo e estouro e como comprimento de auto ruptura, para comparação dos resultados, pois nos cálculos desses índices elimina-se o efeito da gramatura, conforme afirma DUEÑAS, (1997).

A densidade aparente do papel feito a mão, demonstra como as fibras (traqueóides) se compactaram pelo efeito dos tratamentos de refinação, elevando os resultados com o aumento do tempo de moagem, este comportamento é esperado, de acordo com IPT (1988) e DUEÑAS (1997).

A Tabela 78, apresenta o resumo dos testes "t" de *Student* realizados para comparação dos valores médios obtidos entre as espécies nos tratamentos de refinação. A Tabela 79, apresenta o resumo dos testes "t" de *Student* realizados para comparação dos valores médios

gerais das propriedades entre as espécies, e a Tabela 80, apresenta os resumos das análises de variância para verificação das diferenças entre os tratamentos de refinação.

TABELA 78 - RESUMOS DOS TESTES "t" DE *STUDENT*, PARA AS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA DAS FOLHAS DE PAPEL FEITAS A MÃO, A PARTIR DE CELULOSE *KRAFT* DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*, ENTRE TRATAMENTOS DE REFINO,

Propriedade	Tratamento	<i>Pinus maximinoi</i>	<i>Pinus taeda</i>	g.l.	t	
Índice de rasgo	Sem refino	22,96	23,96	14	-1,0779	n.s
Índice de estouro	Sem refino	1,83	2,13	14	-38,4908	**
Comprimento de auto ruptura	Sem refino	3,21	3,63	14	-7,7946	**
Densidade aparente	Sem refino	0,42	0,39	14	7,3880	**
Índice de rasgo	20 min.	19,58	19,76	14	-0,1120	n.s
Índice de estouro	20 min.	3,78	4,01	14	-5,0484	**
Comprimento de auto ruptura	20 min.	6,05	5,96	14	1,8601	n.s.
Densidade aparente	20 min.	0,59	0,59	14	-0,7403	n.s.
Índice de rasgo	40 min.	13,68	15,88	14	-3,1702	**
Índice de estouro	40 min.	4,22	4,20	14	1,0922	n.s.
Comprimento de auto ruptura	40 min.	6,83	6,41	14	7,9168	**
Densidade aparente	40 min.	0,63	0,62	14	2,0542	n.s.
Índice de rasgo	60 min.	11,21	12,31	14	-1,4672	n.s.
Índice de estouro	60 min.	4,23	4,00	14	9,6066	**
Comprimento de auto ruptura	60 min.	6,98	6,47	14	7,0927	**
Densidade aparente	60 min.	0,69	0,66	14	2,0390	n.s.
Índice de rasgo ($\text{mN.m}^2.\text{g}^{-1}$)		$t_{05}(14) = 2,145$				
Índice de estouro ($\text{kPa.m}^2.\text{g}^{-1}$)		$t_{01}(14) = 2,977$				
Comprimento auto ruptura (km)		n.s. = não significativo				
Densidade aparente (g.cm^{-3})		* = significativo a 95% de probabilidade				
		** = significativo a 99% de probabilidade				

Analisando os resultados apresentados na Tabela 77 e Figura 55, observa-se a tendência de decréscimo dos índices de rasgo com o aumento do tempo de moagem para as espécies, o que é esperado em razão da ação do tratamento mecânico de desfibrilamento das

paredes celulares, as diferenças entre os tratamentos são estatisticamente significativas para as duas espécies (Tabela 78).

Os valores médios dos índices de rasgo são ligeiramente superiores para a celulose de *Pinus taeda*, porém na média geral dos tratamentos, a diferença existente não é significativa, enquanto que nos tratamentos observa-se que apenas a 40 minutos de moagem ocorre diferença estatística muito significativa para o índice de rasgo, que é inferior para a celulose de *Pinus maximinoi*

TABELA 79 - RESUMOS DOS TESTES "t" DE *STUDENT*, PARA AS PROPRIEDADES MÉDIAS DA CELULOSE *KRAFT* E DAS MÉDIAS GERAIS DOS TRATAMENTOS DE REFINO DAS FOLHAS DE PAPEL FEITAS A MÃO, DA MADEIRA JUVENIL, ENTRE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*

Característica/ Propriedade	<i>Pinus maximinoi</i>	<i>Pinus taeda</i>	g.l	t	
Rendimento bruto (%)	45,26	45,76	5	1,1202	n.s
Teor de rejeitos (%)	0,20	0,81	5	45,879	**
Número Kappa	31,74	32,56	5	-1,5612	n.s.
Índice de rasgo (mN.m ² .g ⁻¹)	16,86	17,98	29	-0,6251	n.s.
Índice de estouro (kPa.m ² .g ⁻¹)	3,51	3,58	29	-0,2168	n.s.
Comprimento auto ruptura (km)	5,77	5,62	29	0,3016	n.s
Densidade aparente (g.cm ⁻³)	0,58	0,57	29	0,3720	n.s

t₀₅ (5) = 2,571

t₀₅ (29) = 2,045

t₀₁ (5) = 4,032

t₀₁ (29) = 2,756

n.s. = não significativo

** = significativo a 99% de probabilidade.

A diferença do índice de rasgo entre as espécies, parece estar mais fortemente relacionada com a massa específica média da madeira e a porcentagem de lenho tardio, que se correlacionam positivamente. Considerando-se as relações determinadas entre as dimensões dos traqueóides, para a madeira juvenil das duas espécies, o índice de *Runkel* (IR) e a fração parede (FP), que são em média superiores na madeira juvenil de *Pinus taeda*, indicam correlação positiva com a resistência ao rasgo. Observações similares foram relatadas por FOELKEL (1976), em seu estudo com espécies de coníferas.

TABELA 80 - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO PAPEL FEITO A MÃO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda* ENTRE OS TRATAMENTOS DE REFINAÇÃO.

Propriedade	Quadrado Médio	Quadrado Médio	F	
	Tratamentos	Erro	(3,40)	
Índice de rasgo	33511	481,12	69,652	**
Índice de estouro	1389	0,34	4145,688	**
Comprimento auto ruptura	29	0,017	2075,378	**
Densidade aparente	0,1	0,0001	956,425	**

$F_{05}(3,40) = 2,84$

$F_{01}(3,40) = 4,31$

** significativo a 99% de probabilidade

O índice de estouro, ao contrário da resistência ao rasgo, é incrementado com os tratamentos de refino ou moagem dos traqueóides, em função do desfibrilamento das paredes celulares que ocorre no processo, provocando maior hidratação e melhor conformação das fibras nas folhas de papel formadas, incrementa as ligações hidrostáticas entre as fibrilas de celulose com o aumento do tempo do refino até certo grau. As diferenças entre os tratamentos como na resistência ao rasgo, são estatisticamente significativas.

Observa-se no tratamento sem refino e a 20 minutos de moagem valores inferiores para o *Pinus maximinoi*, as diferenças entre as espécies estatisticamente significativas, a 40 de moagem os valores médios são similares, a diferença não significativa, invertendo-se os valores médios a 60 minutos de refinação, o índice de estouro é superior para a celulose de *Pinus maximinoi*, a diferença estatisticamente significativa, sendo que o índice de estouro no papel de *Pinus taeda* decresceu entre 40 e 60 minutos de moagem, o que pode indicar que o máximo de resistência foi atingido nesse intervalo, enquanto que para *Pinus maximinoi* apesar de ocorrer somente um pequeno incremento, apresentou maior resistência ao estouro.

Como pode ser observado na Figura 56, a resistência ao estouro para a celulose de *Pinus maximinoi* desenvolveu-se mais que a de *Pinus taeda*, nos tratamentos de refinação testados. De valor inicial menor, ultrapassa a resistência ao estouro de *Pinus taeda* aos 60 minutos de moagem. Entretanto, as médias gerais dos tratamentos entre as espécies não são estatisticamente significativas, ocorrendo entretanto diferenças significativas no

desenvolvimento da resistência ao estouro, durante o processo de refinação da polpa celulósica.

Segundo DINWOODIE (1965) e FOELKEL (1976), a massa específica e porcentagem de lenho tardio se correlacionam negativamente com a resistência ao estouro, também a espessura da parede celular, enquanto que o comprimento das fibras (traqueóides) se correlaciona positivamente.

As relações calculadas entre as dimensões das fibras como o Índice de *Runkel* apresenta correlação negativa, enquanto que o coeficiente de flexibilidade das fibras (CFL) e a relação comprimento/espessura (C/E) apresentam relação positiva (FOELKEL, 1976).

Considerando-se as médias das propriedades e relações entre as dimensões dos traqueóides para madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, observa-se as mesmas tendências observadas por FOELKEL, se verificam para os índices médios de estouro para as duas espécies.

O comprimento médio de auto ruptura determinados para o papel feito a mão, a partir da celulose da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*, assim como o índice de estouro, é incrementado com os tempos dos tratamentos de moagem, até um certo limite, o que também acontece em função do desfibrilamento nas camadas da parede celular. Os aumentos são maiores entre o tratamento sem refino e até 20 minutos de moagem, as diferenças entre os valores médios dos tratamentos são estatisticamente muito significativas, como também ocorreu para as resistências ao rasgo e ao estouro, confirmando o esperado efeito da refinação sobre as propriedades das fibras e do papel.

Observa-se que no tratamento sem refino o valor médio do comprimento de auto ruptura do papel de *Pinus maximinoi* é 11,5% inferior ao de *Pinus taeda*, diferença esta estatisticamente significativa, sendo entretanto incrementado com o aumento dos tempos de moagem, a 20 minutos é ligeiramente superior, a diferença não significativa, já aos 40 minutos a diferença é 6,6% superior, chegando a 7,9% aos 60 minutos de moagem, ambas significativas estatisticamente (Tabela 78). Nota-se, que como ocorreu com a resistência ao estouro, a resistência à tração da celulose e papel de *Pinus maximinoi* desenvolveu-se de forma mais acentuada com os tratamentos de refinação aplicados.

As correlações entre o comprimento de auto ruptura, que é uma das mais importantes e estudadas propriedades mecânicas da celulose e papel, com as características da madeira tem sido observadas e ocorrem de forma negativa com a massa específica, com a porcentagem de

lenho tardio e também com a espessura média da parede celular. Já as relações entre as dimensões dos traqueóides, como o coeficiente de flexibilidade das fibras (CFL) e a relação comprimento/espessura da parede celular (C/E) apresentam correlação positiva, enquanto que o Índice de *Runkel* (IR) apresenta correlação negativa (DINWOODIE, 1965 e FOELKEL, 1976), considerando-se porém que outros fatores podem ainda influir nas propriedades de tração da celulose, em função das espécies, tipos de fibras, etc.

Estas tendências são também observadas nesse estudo para o papel das duas espécies.

A densidade aparente do papel aumenta com o tempo de moagem, também em função do desfibrilamento das paredes celulares, o que permite uma melhor acomodação das fibras no papel, permitindo ainda uma melhor compactação destas nas folhas, de tal forma que a maiores tempos de moagem ter-se-á papel com maior densidade aparente.

As diferenças observadas nesse estudo concordam com essa tendência e são estatisticamente significativas entre os tratamentos de refinação para as duas espécies estudadas. Os resultados médios por tratamento de moagem entre as espécies mostram tendência semelhante entre ambas, ocorrendo entretanto no tratamento sem refino maior densidade aparente para o papel de *Pinus maximinoi*, cuja diferença é estatisticamente significativa, porém com a aplicação dos tratamentos de moagem o comportamento da densidade aparente para a celulose das duas espécies tornam-se similares, as diferenças não são estatisticamente significativas, indicando uma densidade aparente similar para o papel das duas espécies.

Muito poucas informações publicadas são disponíveis acerca das propriedades da celulose e do papel de *Pinus maximinoi*, da mesma forma como para as características dos traqueóides e propriedades da madeira, especialmente de plantações exóticas. Porém, baseando-se na literatura disponível, é possível fazer comparações com resultados obtidos para árvores de idades semelhantes, isto é, de madeira juvenil, embora crescendo em países como a África do Sul e Colômbia, com certas diferenças metodológicas, permitindo porém traçar-se preliminarmente um paralelo entre as características apresentadas pela celulose e papel nesse estudo.

WRIGHT & WESSELS (1992), obtiveram em seu estudo com *Pinus pseudotrobus* e *Pinus maximinoi*, a partir de 10 árvores por espécie, com 10,5 anos de idade, de testes de procedência na África do Sul, rendimentos médios de 45%, em celulose obtida em laboratório pelo processo *Kraft*, com número *Kappa* médio de 55, sendo a massa específica aparente

(seca ao ar) média entre as 10 árvores, 456 kg.m^{-3} . Os resultados médios de resistência do papel obtido em laboratório para a celulose de *Pinus maximinoi*, para tratamentos sem refino, e com refino a 2250 - 9000 e 18000 revoluções em moinho tipo *PFI*, variaram a partir do tratamento sem refino: índice de estouro: 4,3 a 7,1 $\text{kPa.m}^2.\text{g}^{-1}$; índice de rasgo: 13,5 a 7,9 $\text{mN.m}^2.\text{g}^{-1}$; e comprimento de auto ruptura: 5,7 a 9,7 km. Os autores concluíram que o *Pinus maximinoi* apresentou potencial como matéria-prima para celulose quando comparado a outras espécies de *Pinus spp*, como *Pinus pseudotrobus* e *Pinus patula*, embora apresentando menor índice de rasgo.

Entre os resultados desse estudo e os apresentados, nota-se que os índices de rasgo são bem superiores, enquanto que os valores para a variação do índice de estouro e comprimento de auto ruptura foram inferiores, estas diferenças podem estar relacionadas as diferenças entre os procedimentos de obtenção da celulose, indicado pelos diferentes números *Kappa*, 31 e 55 respectivamente, pelos quais observa-se que a celulose obtida nesse estudo para a madeira juvenil das duas espécies foram mais deslignificadas, pelos menores números *Kappa* (31 e 32) que apresentam; e das diferenças nas condições dos tratamentos de refinação, como no caso do equipamento utilizado, e também nas condições de crescimento das árvores.

Observando-se os resultados apresentados por WRIGHT & MALAN (1991), referentes a dimensão média da espessura da parede celular dos traqueóides de *Pinus maximinoi*, citado no item 6.1.3., que foi o mesmo material utilizado no estudo das propriedades da celulose, pode-se inferir que a maior espessura da parede celular observada na madeira juvenil nesse estudo pode ser responsável pela maior resistência ao rasgo, enquanto que para as propriedades médias superiores de estouro e tração (comprimento de auto ruptura), podem estar relacionadas a menor espessura da parede celular observadas naquelas amostras.

Num trabalho posterior, WRIGHT & BAYLIS (1993), utilizando material de *Pinus maximinoi* coletado em dois testes de progênies da África do Sul, de 5 árvores com características dominantes de 11 anos de idade, obtiveram resultados similares entre os testes de progênies, com valores médios de rendimento em celulose de 42,3%, para o papel feito a mão sem tratamento de refinação, obtiveram para o comprimento de auto ruptura 6,16 km, índice de estouro de 4,2 $\text{kPa.m}^2.\text{g}^{-1}$ e índice de rasgo de 12,8 $\text{mN.m}^2.\text{g}^{-1}$, para número *Kappa* da celulose de 28.

Ressalta-se que a celulose foi obtida por processo *Kraft* em microcozimentos e os cavacos confeccionados a partir de rolos de incrementos retirados a altura do DAP. Os autores encontram também, correlação positiva significativa entre a massa específica básica e a resistência ao rasgo e negativa entre a massa específica básica e as resistências ao estouro e tração do papel. Os autores concluíram que a madeira de *Pinus maximinoi* apresentou resultados em celulose e nas propriedades do papel aceitáveis e recomendaram a espécie para plantio em larga escala na África do Sul.

WRIGHT et al. (1996), em novo estudo com espécies tropicais do gênero *Pinus*, entre as quais *Pinus maximinoi*, amostraram 30 árvores livre de defeitos como bifurcações, tortuosidades, lenho de compressão, com de 8 anos de idade, plantadas na Colômbia. Os cavacos foram obtidos de toras de 2,4 m, a partir de 1,5 m do solo. Os autores obtiveram celulose Kraft em laboratório, com condição fixa do fator $H = 1000$, sulfidez de 30%, relação licor:madeira de 4:1, variando o álcali-ativo para atingir números *Kappa* de 28 - 38 e 50. Os resultados obtidos para a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* variaram em rendimento bruto, entre aproximadamente 50%, para número *Kappa* de 50, a 47% para os números *Kappa* de 38 e 28.

Os índices de estouro e de rasgo apresentaram variação similar para os diferentes números *Kappa*, os índices variaram de 3, a 8 $\text{kPa.m}^2.\text{g}^{-1}$, e de 18 a 10 $\text{mN.m}^2.\text{g}^{-1}$, para o rasgo, sendo o primeiro valor referente ao tratamento sem refinação. A resistência a tração foi determinada pela Absorção de Energia de Tensão (TEA), para a qual ocorreu diferenças entre as celulose obtidas com diferentes números *Kappa*, com maiores valores para os números *Kappa* de 38 e 50, variando de 35 a 150 J.m^{-2} .

Os autores concluíram que os valores do índice de estouro, encontram-se dentro da faixa normal esperada para celulose não branqueada de espécies de *Pinus*, que situam-se entre 6 a 9 $\text{kPa.m}^2.\text{g}^{-1}$, já os valores determinados para o índice de rasgo para *Pinus maximinoi*, bem como das outras espécies estudadas, foram considerados baixos, comparados aos esperados para espécies de *Pinus*, porém lembram os autores que para árvores de baixa idade, os resultados são compatíveis aos esperados e obtidos por outras espécies do gênero nesta faixa de idade, observando que o aumento da idade deve incrementar também as propriedades ao rasgo em razão da diferenciação dos traqueóides e do aumento da proporção de madeira adulta.

Comparando-se os resultados obtidos nesse trabalho, com os apresentados por FOELKEL (1976), para celulose obtida em laboratório em condições similares, com diferença apenas na porcentagem de álcali-ativo que foi de 19%, para as espécies:- *Araucaria angustifolia* de idade indeterminada; *Pinus elliottii* com 8 anos; *Pinus taeda* com 11 anos; *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 8 anos; todas plantadas no Brasil, e ainda com *Pinus elliottii* de 18 anos e *Pinus taeda* de 16 anos, essas plantadas nos Estados Unidos, cujos resultados foram em rendimento bruto, a celulose obtida de madeiras brasileiras variaram de 47,2 a 51,84%, superiores a celulose obtida da madeira americana que foi de 43,3% para *Pinus taeda* e 45,6% para *Pinus elliotti*.

Observa-se que considerados os intervalos nos tempos de moagem correspondentes a densidade de $0,600 \text{ g.cm}^{-3}$, que para o papel das duas espécies desse estudo estão entre 20 e 40 minutos de moagem, nota-se que valores médios similares para o comprimento de auto ruptura para as espécies plantadas no Brasil, exceto para *Pinus caribaea* e as duas espécies plantadas nos Estados Unidos que apresentaram valores médios bem superiores.

Já os índices médios de estouro de *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, após realizada a conversão de unidades, apresentam-se ligeiramente inferiores aos das madeiras brasileiras e muito inferiores aos das madeiras americanas, por outro lado, pode-se verificar que os índices de rasgo, após realizada a conversão de unidades, se mostram superiores, mais acentuadamente para *Pinus taeda*.

WATSON & DADSWEEL (1962), estudando a influência da porcentagem de lenho tardio nas propriedades da celulose, determinaram para *Pinus taeda*, de 23 anos, com porcentagem de lenho tardio em torno de 38%, valores médios para os índices de rasgo de 276 e 176, estouro de 43 e 75 e comprimento de auto ruptura de 4,4 a 8,1 km, sendo o primeiro valor correspondente a tratamento sem refino e o segundo a refinação a 9000 revoluções em moinho tipo *Lampen*. Como se pode observar, mesmo considerando a diferença de idade, porém com porcentagem de lenho tardio pouco superior a determinada para a madeira juvenil de *Pinus taeda*, os resultados nesse estudo assemelham-se aos do tratamento sem refino e são inferiores ao tratamento com refinação, especialmente em rasgo e estouro, o que possivelmente está relacionado à maior idade do material utilizado naquele estudo, em razão das diferenças na proporção de madeira adulta e conseqüente diferenciação dos traqueóides.

Os autores concluíram no estudo, que o lenho inicial e lenho tardio produzem celulose com propriedades diferentes, o lenho tardio produz celulose com alto valor na resistência ao

rasgo, mas com relativos baixos valores em estouro e tração, enquanto que o lenho inicial produz papel com boa conformação, com resistências mais altas em estouro e tração.

KLOCK et al. (2000), obtiveram valores médios superiores para o papel feito a mão, a partir de celulose obtida em laboratório nas mesmas condições de cozimento, de árvores com 25 anos de *Pinus taeda*, de diferentes classes diamétricas, para tempos de moagem de dez, vinte e quarenta minutos. O índice de rasgo variou nas classes diamétricas de 29,6 a 16,9, $\text{mN.m}^2.\text{g}^{-1}$, o índice de estouro de 3,7 a 6,3 $\text{kPa.m}^2.\text{g}^{-1}$ e o comprimento de auto ruptura de 5,45 a 9,20 km, sendo o primeiro valor correspondente ao tratamento de refinação de dez minutos.

Os autores verificaram a ocorrência de forte correlação positiva com a massa específica e a porcentagem de lenho tardio para o índice de rasgo, e correlações negativas para o índice de estouro e comprimento de auto ruptura. A mesma tendência observada para os resultados médios determinados nesse estudo para *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*, observa-se também, que a medida em que a proporção de madeira adulta aumenta nas árvores, tende a ocorrer, em razão da influência da massa específica e porcentagem de lenho tardio um incremento nas resistência ao rasgo, enquanto que a resistência ao estouro e a tração dependem ainda de outros fatores para completa explicação de seu comportamento, que foi também observado por KIBBLEWHITE (1972).

6.6. RESUMO DOS RESULTADOS DA HIPÓTESE H_0 , DE IGUALDADE ENTRE AS CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E DE *Pinus taeda*.

Apresenta-se nas Tabelas 81 a 87, os resumos dos resultados do teste de hipótese H_0 , de igualdade entre as características e propriedades da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e de *Pinus taeda*. Considerando-se *Pinus maximinoi* = μ_1 , e *Pinus taeda* = μ_2 , apresenta-se as características e propriedades da madeira juvenil, analisadas estatisticamente, com a significância estatística obtida, e as hipóteses aceitas ou rejeitadas, para as diferentes características e propriedades testadas, na comparação entre as duas espécies.

TABELA 81 - CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DA MADEIRA JUVENIL

Característica/Propriedade	Significância estatística	Hipótese $H_0 : \mu_1 = \mu_2$	Hipótese $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Características médias dos raios da madeira			
Altura de raios em micrometros	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu$	
Altura de raios em número de células	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu$	
Frequência de raios por milímetro	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Altura de raios em micrometros			
Posição Interna	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu$	
Posição média	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu$	
Posição Externa	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu$	
Altura de raios em número de células			
Posição Interna	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu$	
Posição média	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu$	
Posição Externa	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu$	
Frequência de raios por milímetro			
Posição Interna	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Posição média	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Posição Externa	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

TABELA 82 - CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS.

Característica/Propriedade	Significância estatística	Hipótese $H_0 : \mu_1 = \mu_2$	Hipótese $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Características morfológicas médias dos traqueóides axiais entre as espécies			
Comprimento Inicial	*		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Comprimento Tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Diâmetro Externo Inicial	*		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Diâmetro Externo Tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Diâmetro Interno Inicial	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Diâmetro Interno Tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Espessura da Parede Inicial	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Espessura da Parede Tardio	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Características morfológicas médias dos traqueóides axiais nos anéis anuais de crescimento entre as espécies			
Comprimento Inicial	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Comprimento Tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Diâmetro Externo Inicial	*		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Diâmetro Externo Tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Diâmetro Interno Inicial	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Diâmetro Interno Tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Espessura da Parede Inicial	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Espessura da Parede Tardio	*		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

n.s. = não significativo * = significativo a 95% de probabilidade ** = significativo a 99% de probabilidade *Pinus maximinoi* = μ_1 *Pinus taeda* = μ_2

TABELA 83 - RELAÇÕES ENTRE AS DIMENSÕES MÉDIAS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS

Característica/Propriedade	Significância estatística	Hipótese $H_0 : \mu_1 = \mu_2$	Hipótese $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Relações entre as dimensões médias dos traqueóides axiais entre as espécies			
Índice de enfieltramento (IE) Tardio	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Índice de enfieltramento (IE) Inicial	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Coefficiente de flexibilidade (CFL) Tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Coefficiente de flexibilidade (CFL) Inicial	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Fração parede (FP) Tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Fração parede (FP) Inicial	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Relação comprimento e espessura da parede celular (C/E) Tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Relação comprimento e espessura da parede celular (C/E) Inicial	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Índice de <i>Runkel</i> (IR) Tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Índice de <i>Runkel</i> (IR) Inicial	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Relações entre as dimensões médias dos traqueóides axiais nos anéis anuais de crescimento entre as espécies			
Índice de enfieltramento (IE) Tardio	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Índice de enfieltramento (IE) Inicial	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Coefficiente de flexibilidade (CFL) Tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Coefficiente de flexibilidade (CFL) Inicial	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Fração parede (FP) Tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Fração parede (FP) Inicial	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Relação comprimento e espessura da parede celular (C/E) Tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Relação comprimento e espessura da parede celular (C/E) Inicial	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Índice de <i>Runkel</i> (IR) Tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Índice de <i>Runkel</i> (IR) Inicial	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	

n.s. = não significativo
probabilidade

** = significativo a 99% de probabilidade

* = significativo a 95% de

TABELA 84 - PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA JUVENIL

Característica/Propriedade	Significância estatística	Hipótese $H_0 : \mu_1 = \mu_2$	Hipótese $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Características das árvores amostradas			
Diâmetro (DAP)	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Altura total	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Altura comercial	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Volume comercial c/c	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Volume comercial s/c	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Casca (%)	*		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Massa específica básica	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Lenho tardio (%)	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Retratibilidade da madeira			
Contração volumétrica máxima β_{Vol}	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Contração tangencial máxima β_{tang}	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Contração radial máxima β_{rad}	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Contração longitudinal máxima β_{long}	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Anisotropia de contração β_t/β_r	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Massa específica aparente	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Massa específica básica	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Lenho tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Coeficiente de retratibilidade volumétrica Q_{vol}	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Coeficiente de retratibilidade tangencial Q_{tang}	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Coeficiente de retratibilidade radial Q_{rad}	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

n.s. = não significativo

* = significativo a 95% de probabilidade

** = significativo a 99% de probabilidade

Pinus maximinoi = μ_1 *Pinus taeda* = μ_2

TABELA 85 - PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIAS MECÂNICAS

Característica/Propriedade	Significância estatística	Hipótese $H_0 : \mu_1 = \mu_2$	Hipótese $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Resistência à Flexão Estática			
Módulo de Ruptura	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Módulo de Elasticidade	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Massa específica aparente	n.s	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Lenho tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Resistência à Compressão Paralela às fibras			
Módulo de Ruptura	*		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Módulo de Elasticidade	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Massa específica aparente	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Lenho tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Resistência ao Cisalhamento			
Cisalhamento Tangencial	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Massa específica aparente	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Lenho tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Cisalhamento Radial	n.s	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Massa específica aparente	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Lenho tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Propriedades de Dureza			
Tangencial	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Radial	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Longitudinal	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Massa específica aparente	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Lenho tardio	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

n.s. = não significativo

* = significativo a 95% de probabilidade

** = significativo a 99% de probabilidade

Pinus maximinoi = μ_1 *Pinus taeda* = μ_2

TABELA 86 - PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA, PROPRIEDADES DA CELULOSE E PAPEL PROPRIEDADES DO PAPEL FEITO A MÃO POR TRATAMENTO DE REFINAÇÃO

Característica/Propriedade	Significância estatística	Hipótese $H_0 : \mu_1 = \mu_2$	Hipótese $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Propriedades químicas da madeira			
Solubilidade em água fria	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Solubilidade em água quente	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Solubilidade em NaOH 1%	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Extrativos em álcool-benzeno	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Extrativos totais	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Teor de Lignina	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Teor de holocelulose	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Teor de cinzas	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Propriedades e características médias da celulose e papel			
Rendimento bruto (%)	ns	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Teor de rejeitos (%)	**		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Número Kappa	ns	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Índice de rasgo	ns	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Índice de estouro	ns	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Comprimento auto ruptura	ns	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	
Densidade aparente	ns	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	

n.s. = não significativo

* = significativo a 95% de probabilidade

** = significativo a 99% de probabilidade

Pinus maximinoi = μ_1

Pinus taeda = μ_2

TABELA 87 - PROPRIEDADES DAS FOLHAS DE PAPEL FEITO A MÃO POR TRATAMENTO DE REFINAÇÃO

Característica/Propriedade		Significância estatística	Hipótese $H_0 : \mu_1 = \mu_2$	Hipótese $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Índice de rasgo	Sem refino	n.s	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Índice de estouro	Sem refino	**		
Comprimento de auto ruptura	Sem refino	**		
Densidade aparente	Sem refino	**		
Índice de rasgo	20 min.	n.s	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Índice de estouro	20 min.	**		
Comprimento de auto ruptura	20 min.	n.s.		
Densidade aparente	20 min.	n.s.		
Índice de rasgo	40 min.	**	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Índice de estouro	40 min.	n.s.		
Comprimento de auto ruptura	40 min.	**		
Densidade aparente	40 min.	n.s.		
Índice de rasgo	60 min.	n.s.	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
Índice de estouro	60 min.	**		
Comprimento de auto ruptura	60 min.	**		
Densidade aparente	60 min.	n.s.		

n.s. = não significativo

* = significativo a 95% de probabilidade

** = significativo a 99% de probabilidade

Pinus maximinoi = μ_1

Pinus taeda = μ_2

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os objetivos propostos e com os resultados observados e discutidos, chegou-se as seguintes conclusões:

- a. As propriedades da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, referindo-se aos seus aspectos anatômicos, propriedades físicas, de resistências mecânicas, composição química quantitativa e propriedades da celulose, apresentam a tendência geral das árvores de rápido crescimento de espécies do gênero *Pinus*, apresentando entretanto porcentagem de lenho tardio menos pronunciada que outras espécies.;
- b. A madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresenta tecido com características anatômicas semelhantes a madeira juvenil de *Pinus taeda*, porém com menor frequência de raios por milímetro e menor variação entre anéis anuais de crescimento subsequentes, características que podem determinar diferenças favoráveis no comportamento da madeira entre as espécies, como por exemplo nas propriedades físicas de retratibilidade, entre outras.;
- c. Os traqueóides axiais na madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresentam a tendência de aumento rápido e acentuado do comprimento no sentido medula - casca, e de maiores diâmetros externos, os de lenho inicial mais espessos, sendo a espessura das paredes celulares entre o lenho inicial e tardio mais homogêneos, quando comparado aos de *Pinus taeda*;
- d. As relações calculadas entre as dimensões dos traqueóides axiais da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, indicam haver potencialidade desta para a manufatura de celulose e papel, com características semelhantes às obtidas para a celulose da madeira juvenil de *Pinus taeda*;
- e. Considerando-se as características das árvores das duas espécies, nas condições de sítio, clima e idade do material estudado, *Pinus maximinoi* apresenta notável crescimento em altura, com melhor forma, maior produção em volume total e comercial de madeira, e maior porcentagem de casca, comparada ao *Pinus taeda*;

- f. A maior homogeneidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, em massa específica ao longo do fuste e entre os lenhos inicial e tardio, classifica-a como de melhor qualidade que a de *Pinus taeda*, na sua trabalhabilidade e outras vantagens relacionadas ao processamento mecânico da madeira;
- g. As propriedades de retratibilidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresentaram contrações inferiores, tanto volumétrica como lineares, ocorrendo porém um coeficiente de anisotropia de contração superior, quando comparada à madeira juvenil de *Pinus taeda*;
- h. As propriedades mecânicas de flexão estática da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresentaram-se superiores às de *Pinus taeda*. A maior resistência à flexão estática observada em *Pinus maximinoi* pode significar grandes vantagens na utilização da madeira desta espécie;
- i. A madeira juvenil de *Pinus maximinoi* mostrou-se menos resistente à compressão paralela às fibras, em termos de módulo de ruptura comparado a *Pinus taeda*, apresentando entretanto a mesma elasticidade. Porém considerando-se a idade do material estudado a resistência a compressão de *Pinus maximinoi* equipara-se a da madeira juvenil de outras espécies do gênero *Pinus*;
- j. A madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresentou resistência ao cisalhamento na direção tangencial superior a da madeira juvenil de *Pinus taeda*, possivelmente em razão de sua maior homogeneidade. No sentido radial esta resistência é semelhante, mesmo com menor massa específica, o que indica potencial para utilização estrutural da madeira em vigas laminadas e em outros materiais compostos;.
- k. A dureza da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* foi inferior à de *Pinus taeda*, em função da menor massa específica e, possivelmente, devido a alta porcentagem de lenho tardio na madeira juvenil de *Pinus taeda*, o que influencia sobretudo as determinações dessa propriedade, indicando precaução na utilização da madeira juvenil em produtos que venham a exigir dureza elevada;
- l. A composição química quantitativa da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresenta-se dentro das faixas esperadas para as espécies do gênero *Pinus*. Em comparação à madeira juvenil de *Pinus taeda*, esta apresentou teores de extrativos mais elevados, com menor teor de cinzas, mas com os teores dos compostos macromoleculares semelhantes;

- m. As características da celulose obtida da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* mostra rendimento esperado para a madeira de árvores de rápido crescimento de espécies do gênero *Pinus*, para as condições experimentais utilizadas, sendo equivalente ao de *Pinus taeda* nas mesmas condições e apresentando boa característica de deslignificação, com baixo teor de rejeitos;
- n. O papel feito a mão a partir da celulose *Kraft* de *Pinus maximinoi* apresentou, em média, qualidade semelhante a de *Pinus taeda*, indicando sua potencialidade nesta utilização. As propriedades de resistência evoluíram com tratamentos de refinação de forma mais homogênea, comparada às de *Pinus taeda*, provavelmente em razão da maior homogeneidade nas características dos traqueóides;
- o. As propriedades de resistência da madeira de juvenil de *Pinus maximinoi*, de modo geral, são fortemente influenciadas pela massa específica, enquanto que a porcentagem de lenho tardio, por sua vez, se correlaciona de forma pouco consistente com as propriedades de resistência e com a massa específica. Para a madeira de *Pinus taeda*, por outro lado, observa-se uma influência alta da porcentagem de lenho tardio na massa específica e por conseqüência nas propriedades de resistência da madeira.
- p. As características e propriedades da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, comparadas às de *Pinus taeda*, de forma geral apresentam maior variação, indicando maior variabilidade entre indivíduos da população amostrada;
- q. Em razão das conclusões anteriores, pode-se dizer que a madeira juvenil de *Pinus maximinoi* apresenta-se com qualidade semelhante à madeira de *Pinus taeda* em algumas características e propriedades. No conjunto, entretanto, é bastante diferenciada, em alguns aspectos com características superiores e em outras, inferiores. Além do *Pinus maximinoi* apresentar notável diferença em crescimento e produção em volume de madeira, tecnologicamente apresenta a vantagem de ter madeira juvenil mais homogênea, em função da menor porcentagem de lenho tardio, o que significa na prática melhor trabalhabilidade entre outras vantagens decorrentes da maior uniformidade do material. O que leva a concluir que a madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, apresenta em média características tecnológicas que indicam potencial de utilização em produtos de madeira, com vantagens em alguns aspectos em relação a madeira juvenil de *Pinus taeda*

Em função das conclusões anteriormente apresentadas, e das observações durante o estudo, é razoável que se façam as seguintes recomendações:

a. Em razão do estudo ter sido realizado com a madeira juvenil das duas espécies, recomenda-se o acompanhamento da evolução das propriedades tecnológicas da madeira de *Pinus maximinoi*, com o aumento da idade das árvores, pois torna-se fundamental para definição das características tecnológicas da madeira adulta e o potencial final de utilização, tendo-se em vista que é esperado um incremento nas suas propriedades com a formação do lenho adulto;

b. Estudos sobre a possibilidade de melhorar a qualidade da madeira, tendo-se em vista a que a alta variabilidade observada nos resultados médios entre árvores, para a madeira de *Pinus maximinoi*, sugere que as propriedades podem ser possivelmente alteradas por tratamentos silviculturais e seleção genética, ou combinação destes aspectos, visto que reduzir a variabilidade das características tecnológicas é importante e deve ser levada em consideração como objetivo na silvicultura de uma espécie, especialmente com as de potencial de utilização.

c. Aprofundamento no estudo qualitativo dos constituintes químicos das substâncias estranhas ou acidentais (extrativos), e de estudos das características de deeterioração e de permeabilidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, em razão de observações realizadas durante a manipulação da madeira amostrada, na qual a manifestação visual de fungos emboloradores e manchadores não ocorreu, o contrário da madeira de *Pinus taeda*, observada em poucos dias;

d. Avaliar o comportamento da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* na produção de polpa celulósica com diferentes condições experimentais de cozimento e avaliar as propriedades destas;

e. Ampliação do estudo do comportamento das fibras em diferentes condições, bem como proceder estudos de produção de pastas mecânicas em função da maior homogeneidade da madeira; e

e. Ampliar os estudos para a caracterização tecnológica da madeira de *Pinus maximinoi* em termos de trabalhabilidade, laminação, manufatura de painéis, painéis de

partículas, vigas laminadas e outros produtos, nos quais a madeira juvenil de espécies de coníferas é de grande potencial de utilização.

ANEXO 1

RESUMO DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS BÁSICAS
PARA AS CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DA MADEIRA JUVENIL
DE *Pinus maximinoi* E De *Pinus taeda*

ANEXO 1

A1-1 - RESUMO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA BÁSICA DAS CARACTERÍSTICAS DOS RAIOS NO
LENHO JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*

<i>Pinus maximinoi</i>	N	Média	Int.Conf. -95%	Int. Conf. +95%	Mínimo	Máximo	Variân- cia	Desvio Padrão	Erro Padrão
ALTUM	540	170,7	163,4	178,0	13,0	520,0	7436,0	86,2	3,711
ALTCEL	540	8,5	8,2	8,9	2,0	24,0	16,7	4,1	0,176
FREQMM	540	3,6	3,5	3,7	1,0	7,0	1,4	1,2	0,050
<i>Pinus taeda</i>									
ALTUM	540	174,7	166,7	182,8	40,0	570,0	8983,0	94,78	4,08
ALTCEL	540	9,0	8,6	9,4	1,0	28,0	23,0	4,80	0,21
FREQMM	540	5,2	5,0	5,3	2,0	9,0	1,7	1,31	0,06

A1-1a - RESUMO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA BÁSICA DAS CARACTERÍSTICAS DOS RAIOS NO
LENHO JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda* ENTRE AS POSIÇÕES NO SENTIDO MEDULA-
CASCA, 1 - INTERNA; 2- MÉDIA E 3 - EXTERNA

Posi- ção	<i>Pinus maximinoi</i>	N	Média	Int.Conf. -95%	Int. Conf. +95%	Mínimo	Máximo	Variân- cia	Desvio Padrão	Erro Padrão
1	ALTRAI0	180	175,9	162,8	188,9	19,0	460,0	7892,0	88,84	6,622
	ALTCELU	180	8,6	8,0	9,2	2,0	22,0	15,9	3,99	0,298
	FREQ	180	3,9	3,7	4,0	1,0	7,0	1,5	1,22	0,091
2	ALTRAI0	180	172,3	159,7	185,0	40,0	520,0	7421,3	86,15	6,421
	ALTCEL	180	8,7	8,0	9,3	2,0	24,0	18,0	4,24	0,316
	FREQ	180	3,6	3,5	3,8	1,0	6,0	1,2	1,11	0,083
3	ALTRAI0	180	163,9	151,5	176,2	13,0	500,0	7000,8	83,67	6,236
	ALTCEL	180	8,3	7,7	8,9	2,0	24,0	16,3	4,03	0,301
	FREQ	180	3,4	3,2	3,6	1,0	7,0	1,3	1,14	0,085

Pinus taeda

1	ALTRAI0	180	173,5	161,0	186,0	40,0	430,0	7184,9	84,76	6,32
	ALTCELU	180	8,7	8,1	9,4	2,0	20,0	18,4	4,29	0,32
	FREQ	180	5,2	5,0	5,4	2,0	7,0	1,8	1,35	0,10
2	ALTRAI0	180	170,3	156,2	184,4	40,0	520,0	9175,9	95,79	7,14
	ALTCEL	180	9,0	8,3	9,7	1,0	27,0	22,8	4,78	0,36
	FREQ	180	5,2	5,0	930,	3,0	5,0	1,6	1,26	0,09
3	ALTRAI0	180	180,4	165,3	195,6	50,0	520,0	10634,4	103,12	7,69
	ALTCEL	180	9,3	8,5	10,1	2,0	25,0	27,9	5,29	0,39
	FREQ	180	5,1	4,9	5,3	3,0	6,0	1,7	1,32	0,10

A1-2 - RESUMO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA BÁSICA DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL E TARDIO A ALTURA DO DAP DE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*

<i>Pinus maximinoi</i>	N	Média	Int.Conf. -95%	Int. Conf. +95%	Mínimo	Máximo	Variân- cia	Desvio Padrão	Erro Padrão
Comp tardio	60	3271	3104	3437	1883	4944	417931,7	646,47	83,45
Comp inicial	60	3174	3004	3344	1921	4523	435338,8	659,80	85,18
D. ext.tardio	60	42,6	41,4	43,6	33,7	53,7	19,6	4,42	0,5712
D. ext.inicial	60	44,7	43,5	45,8	37,0	54,1	19,9	4,45	0,5755
D. int. tardio	60	27,3	26,0	28,6	18,3	42,4	25,0	4,99	0,6451
D. int. inicial	60	33,4	32,2	34,4	22,9	43,0	19,4	4,39	0,5679
Esp. tardio	60	7,6	7,2	8,0	4,1	10,7	2,8	1,66	0,2149
Esp. inicial	60	5,7	5,2	6,1	3,0	8,9	2,6	1,62	0,2096

<i>Pinus taeda</i>	N	Média	Int.Conf. -95%	Int. Conf. +95%	Mínimo	Máximo	Variân- cia	Desvio Padrão	Erro Padrão
Comp tardio	60	2979	2844	3115	1834	4347	275227,5	524,6	67,728
Comp inicial	60	2934	2795	3073	1705	4534	289851,4	538,3	69,504
D. ext.tardio	60	38,5	37,6	39,5	31,3	49,1	13,6	3,684	0,4757
D. ext.inicial	60	42,4	40,9	43,8	29,8	54,2	30,4	5,513	0,7117
D. int. tardio	60	22,3	21,2	23,5	13,4	39,8	21,1	4,588	0,5924
D. int. inicial	60	32,9	30,9	34,9	17,0	48,9	60,5	7,775	1,003
Esp. tardio	60	8,1	7,7	8,4	4,6	11,0	2,2	1,499	0,1935
Esp. inicial	60	4,7	4,2	5,2	2,5	9,7	3,4	1,852	0,2391

A1-3 - RELAÇÕES CALCULADAS ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES NOS ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO PARA O LENHO TARDIO E INICIAL DE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*

<i>Pinus maximinoi</i>	N	Média	Int.Conf. -95%	Int. Conf. +95%	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
IE TARDIO	60	77,3	73,2	81,3	50,7	113,0	244,4	15,63	2,02
IE INICIAL	60	71,1	67,6	74,6	43,2	104,1	186,1	13,64	1,76
CFL TARDIO	60	128,1	123,9	132,2	98,5	160,2	260,7	16,15	2,08
CFI INICIAL	60	149,4	146,0	152,9	114,1	174,9	179,5	13,40	1,73
FP TARDIO	60	36,0	33,9	38,1	19,9	50,8	65,2	8,07	1,04
FP INICIAL	60	25,4	23,7	27,2	12,5	42,9	44,8	6,69	0,86
C/ETARDIO	60	442,2	417,8	466,7	260,2	638,1	8955,7	94,63	12,22
C/EINICIAL	60	588,5	548,6	628,4	269,0	965,5	23847,6	154,43	19,94
IR TARDIO	60	0,587	0,534	0,640	0,248	1,031	0,4	0,20	0,026
IR INICIAL	60	0,351	0,318	0,384	0,143	0,753	0,2	0,13	0,016

<i>Pinus taeda</i>	N	Média	Int.Conf. -95%	Int. Conf. +95%	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
IE TARDIO	60	77,3	74,3	80,2	53,1	107,6	132,9	11,5	1,49
IE INICIAL	60	69,5	66,6	72,3	43,8	90,2	121,4	11,0	1,42
CFL TARDIO	60	115,4	111,1	119,7	78,2	162,0	276,8	16,6	2,15
CFI INICIAL	60	153,8	148,4	159,3	101,2	180,3	448,5	21,2	2,73
FP TARDIO	60	42,3	40,2	44,5	18,98	60,9	69,2	8,3	1,07
FP INICIAL	60	23,1	20,3	25,8	9,83	49,4	112,1	10,6	1,37
C/ETARDIO	60	377,0	355,8	398,1	202,84	676,4	6704,5	81,9	10,6
C/EINICIAL	60	711,2	639,2	783,2	288,77	1267,1	77619,6	278,6	36,0
IR TARDIO	60	0,77	0,70	0,84	0,23	1,56	0,07	0,26	0,033
IR INICIAL	60	0,33	0,27	0,39	0,11	0,98	0,05	0,22	0,028

A1-4 - RESULTADOS ESTATÍSTICOS BÁSICOS OBTIDOS DOS DADOS OBTIDOS NA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE RETRATIBILIDADE.

Pinus maximinoi

Propriedade	N	Média	Int. conf. -95%	Int. conf. +95%	Mínimo	Máximo	Variân- cia	Desvio Padrão.	Erro Padrão	C.V. %
$\beta V\%$	240	9,08	8,84	9,33	4,61	13,63	3,730	1,931	0,1247	21,27
$\beta TG\%$	240	6,06	5,89	6,23	2,58	9,52	1,751	1,323	0,0854	21,83
$\beta RD\%$	240	2,92	2,80	3,04	0,81	5,67	0,895	0,946	0,0611	32,40
$\beta LONG\%$	240	0,31	0,28	0,34	0,001	1,46	0,055	0,235	0,0152	75,81
$\beta T/\beta R$	240	2,21	2,14	2,28	1,30	4,38	0,287	0,536	0,0346	24,25
$\rho_{ap,m} \text{ kg/m}^3$	240	471,1	462,7	479,4	342,2	645,7	4333,6	65,83	4,24	13,97
$\rho_{b,m} \text{ kg/m}^3$	240	400,8	394,0	407,6	293,8	541,1	2829,1	53,190	3,433	13,27
LT %	240	11,94	11,35	12,52	0,00	25,13	21,245	4,609	0,2975	38,60

Pinus taeda

Propriedade	N	Média	Int. conf. - 95%	Int. conf.+95%	Mínimo	Máximo	Variân- cia	Desvio Padrão.	Erro Padrão	C.V. %
$\beta V\%$	228	10,58	10,35	10,80	6,64	13,76	2,866	1,693	0,112	16,3
$\beta TG\%$	228	6,77	6,64	6,91	3,42	8,49	1,017	1,009	0,067	14,9
$\beta RD\%$	228	3,87	3,74	4,00	1,61	6,05	1,006	1,003	0,066	25,9
$\beta LONG\%$	228	0,22	0,20	0,24	0,02	1,01	0,025	0,157	0,010	71,4
$\beta T/\beta R$	228	1,83	1,78	1,88	1,30	3,23	0,152	0,390	0,026	21,3
$\rho_{ap,m} \text{ kg/m}^3$	228	503,2	493,51	512,9	372,29	656,19	5496,23	74,137	4,910	14,2
$\rho_{b,m} \text{ kg/m}^3$	228	419,9	412,37	427,5	313,01	535,79	3354,82	57,921	3,836	13,8
LT %	228	35,83	34,13	37,52	12,27	70,16	168,740	12,990	0,860	36,2

A1-5 - RESUMO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA BÁSICA DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*

<i>Pinus maximinoi</i>	N	Média	Int.Conf. -95%	Int. Conf. +95%	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão	C.V. %
Módulo de Ruptura	191	66,1	63,8	68,4	31,1	112,2	263	16,229	1,174	24,55
Módulo de Elasticidade	191	8336	7981	8692	2910	15277	6186393	2487,2	179,97	29,83
Massa específica aparente 12%	191	488,2	479,0	497,4	362,6	695,0	4171	64,58	4,673	13,23
Lenho tardio	191	6,47	5,75	7,19	0,00	22,59	13	3,598	0,362	55,61

<i>Pinus taeda</i>	N	Média	Int.Conf. -95%	Int. Conf. +95%	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão	C.V. %
Módulo de Ruptura	222	60,6	58,7	62,5	29,7	98,4	199	14,10	0,95	23,26
Módulo de Elasticidade	222	7025,1	6723,5	7326,7	2561,2	13765,9	5198781	2280,1	153,03	32,45
Massa específica aparente 12%	222	489,0	480,1	497,9	374,2	662,4	4559	67,5	4,53	13,80
Lenho tardio	222	30,1	28,5	31,8	0,00	80,0	158	12,56	0,843	41,72

A1-6 - RESUMO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA BÁSICA DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*

<i>Pinus maximinoi</i>	N	Média	Int.Conf. -95%	Int. Conf. +95%	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão	CV %
Módulo de Ruptura	187	23,58	23,11	24,04	15,06	32,50	11	3,243	0,237	13,75
Módulo de Elasticidade	187	6094,4	5887,7	6301,09	2322,7	10081,2	2052760	1432,8	104,77	23,51
Massa específica aparente 12%	187	447,9	442,1	453,8	357,4	541,0	1628	40,35	2,95	9,00
Lenho tardio	187	11,43	10,79	12,07	3,00	28,00	20	4,44	0,325	38,85

<i>Pinus taeda</i>	N	Média	Int.Conf. -95%	Int. Conf. +95%	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão	C.V. %
Módulo de Ruptura	154	23,47	22,89	24,05	10,72	30,12	13	3,659	0,2949	15,59
Módulo de Elasticidade	154	6237,8	5995,9	6479,7	2418,3	10983,5	2309405	1519,7	122,46	24,36
Massa específica aparente 12%	154	482,2	475,9	488,4	408,2	610,6	1533	39,15	3,16	8,11
Lenho tardio	154	32,54	31,08	34,00	16,00	66,00	84	9,18	0,74	28,21

A-1-7 - RESUMO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA BÁSICA DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*

Pinus maximinoi

Propriedade	Nº CP	Média (MPa)	Intervalo de Conf. 95%	Intervalo de Conf +95	Mínimo	Maximo	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
Cis Tang MPa	194	10,04	9,72	10,36	6,88	13,84	2,519	1,5871	0,16115
ρ_{ap12} kg/m ³	194	454	445	463	357	611	2182,72	46,7196	4,74366
Lenho Tardio %	194	13,57	12,67	14,47	4,01	24,16	20,060	4,4788	0,45475
Cis Radial MPa	162	8,25	8,00	8,49	6,23	10,80	1,255	1,1203	0,12448
ρ_{ap12} kg/m ³	162	452	442	461	354	568	1870,60	43,250	4,80561
Lenho Tardio %	162	14,47	12,98	15,97	4,01	41,08	45,867	6,7724	0,75250

Pinus taeda

Propriedade	Nº CP	Média (MPa)	Intervalo de Conf.- 95%	Intervalo de Conf +95	Mínimo	Maximo	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
Cis Tang MPa	162	9,38	9,12	9,65	6,09	13,3501	2,874	1,6952	0,13318
ρ_{a12p} kg/m ³	162	484	478	489	374	577	1420,33	37,687	2,96099
Lenho Tardio %	162	31,32	30,11	32,53	16,08	58,22	60,865	7,8016	0,61292
Cis Radial MPa	139	8,23	8,04	8,41	5,62	12,02	1,266	1,1250	0,09542
ρ_{a12p} kg/m ³	139	487	481	494	394	597	1592,68	39,908	3,38499
Lenho Tardio %	139	32,22	30,89	33,55	12,01	54,44	63,108	7,9441	0,67381

A1-8 - RESUMO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA BÁSICA DA DUREZA JANKA, NOS SENTIDOS TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* E *Pinus taeda*

Pinus maximinoi

Resistência a Dureza Janka	Nº CP	Média (MPa)	Intervalo de Conf. 95%	Intervalo de Conf +95	Mínimo	Maximo	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
Tangencial	69	22,66	21,41	23,91	12,77	37,02	27,194	5,215	0,6278
Radial	69	24,92	23,57	26,27	16,43	42,90	31,632	5,624	0,6771
Longitudinal	69	34,11	32,64	35,59	22,56	53,69	37,823	6,150	0,7404
ρ_{ap12} kg/m ³	69	452	442	462	360	542	1723,81	41,519	4,9983
Lenho Tardio%	69	14,17	12,76	15,58	4,01	30,06	34,522	5,876	0,7073

Pinus taeda

Tangencial	91	30,38	28,56	32,20	14,71	54,92	76,54	8,749	0,9171
Radial	91	30,02	28,35	31,69	16,92	57,12	64,27	8,017	0,8404
Longitudinal	91	42,59	40,50	44,67	23,54	71,83	100,16	10,008	1,0491
ρ_{ap12} kg/m ³	91	487	478	495	409	583	1618,00	40,224	4,2167
Lenho Tardio %	91	35,10	33,04	37,16	16,50	58,00	97,97	9,898	1,0376

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Normas Técnicas**. Rio de Janeiro, 1998.
2. ABTCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL, **Pasta Celulósica e Papel**. São Paulo. 1998.
3. AHRENS, S. Pinus - O manejo e a silvicultura de plantações de *Pinus* na região sul do Brasil. **Revista da Madeira**, Curitiba, ano 7, n. 42. p.16-20, 1998
4. BAKER, RT., SMITH, HG. Wood fibres of some Australian timbers. **J. Counc. Sci. Ind. Res.**, 14 (4) : 266-280, 1924.
5. BAMBER, RK., BURLEY, J. **The wood properties of radiata pine**. Commonwealth Agricultural Bureax, 1983. 84p.
6. BARRICHELO, LEG. **Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira em *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. e Golf. para a produção**

- de celulose e papel.** Piracicaba: 1979. 167p. Tese de Livre Docência, ESALQ. Universidade de São Paulo.
7. BARRICHELO, LEG., BRITO, JO. A madeira de *Pinus taeda* como matéria prima para celulose Kraft. I. Influência dos teores de lenho. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO. **Anais.** Manaus, v.3, p. 1-18. 1978.
 8. BARTZ, A . Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. In.: Congresso Florestal Brasileiro (2. : 1973: Curitiba). **Anais.** Curitiba: FIEP, 1974, p.275-277.
 9. BENDTSEN, BA. Properties of wood from improved and intensively managed trees. Proc.: **Impact of the changing quality of timber resources.** Forest Products Research Society. n. p-78-21, p. 26-37., 1978.
 10. BENDTSEN, BA., SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and Loblolly Pine. **Wood and Fibre Science.** v.18, n.1, p. 21- 38. 1986.
 11. BISSET, IJW., DADSWELL, HE. The variation in cell length within one growth ring of certain angiosperms and gymnosperms. **Aust. For. ,** v.14, p.17-29, 1950.
 12. BODIG, J., JAYNE, BA. **Mechanics of Wood and Wood Composites.** Krieger Publ. Comp. Malabar. 712p. 1993.
 13. BOONE, RS., CHUDNOFF, M. Compression wood formation and other characteristics of plantation-grown *Pinus caribaea*. USDA. Forest Service, **Research paper** n.13. Madison. 1972.
 14. BORTOLETTO JÚNIOR, G. **Indicações para a utilização da madeira de sies espécies e variedades de pinus na construção civil.** São Carlos: 1993. 119p. Dissertação. (Mestrado em Arquitetura - Tecnologia do Ambiente Construído). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
 15. BORTOLETTO JÚNIOR, G. **Estudo da qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. proveniente de árvores adultas atingidas por incêndio florestal.** Curitiba: 1999. 173p. Tese. (Doutorado em Ciências Florestais) Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
 16. BORTOLETTO JUNIOR, G.; KLOCK, U. Comparative study of gravimetric and Karl Fischer methods utilized on determination of moisture content of *Pinus elliottii* wood In. IX REUNIÓN Y I CONGRESO IBEROAMERICANO SOBRE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE PRODUCTOS FORESTALES. (Concepción , 2000) **Anales.** Concepcion, 2000.
 17. BOTOSSO, PC. **Une methode de mesure du retrait microscopique du bois: Application à la prediction du retrait tangentiel d'éprouvettes de bois massif de**

- Sapin pectiné (*Abies alba* Mill.).** Nancy: 1997. 247p. These (Docteur en Sciences du Bois) Université Henri Poincaré - Nancy I.
18. BOUTLEJE, JB. The relationship of structure to transverse anisotropy in wood with reference to shrinkage and elasticity. **Holzforrschung**, Technischer Verlag Herbercram, Berlin, v.5, n.16. p. 35-44. 1963.
 19. BRACELPA, **Estatísticas do Setor** Disponível: <http://www.bracelpa.com.br/>, Capturado em 11/2000.
 20. BRASIL, MAM., FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. , *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos 5 anos de idade em função do local e espaçamento. **IPEF**, n.2-3, p.129-149, 1971.
 21. BROWN, WH. **Timbers of the world. 9 – Central América and the Caribbean.** Londres: Timber Research and Development Association, 1979. 86 p.
 22. BROWN, HP, PASHIN, AJ., FORSAITH, CC. **Textbook of wood technology - II.** New York: Mc Graw - Hill, 1952, 783p.
 23. BROWNING, BL. **Methods of Wood Chemistry - Vol I e Vol II**, Interscience Publ. New York, 1967.
 24. BURGER, ML.; RICHTER, HG. **Anatomia da madeira.** São Paulo: Nobel. 1991. 154p.
 25. BURLEY, J. Tracheid lenght variation in a single tree of *Pinus kessiya* Royle ex Gord. **Wood Sci. Technology**, v.3. p.109-116, 1969.
 26. CARLQUIST, S. **Ecological strategies in xylem evolution.** Bekerley: University of California Press, 1975, 259 p.
 27. CENTRO TÉCNICO DE EVALUACIÓN FORESTAL. **Estudio de las Propiedades físico mecânicas y estructura anatômica de 7 especies de Pino de Guatemala.** CTEF. Guatemala, 1972. 94 p.
 28. CHIMELO, JP. Anatomia da madeira. In: LEPAGE, ES. **MANUAL DE PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS.** 2.ed. São Paulo: IPT. 1989. v.1. p.41-67.
 29. CHOONG, ET., et al. Cultural treatment and wood type effects on wood properties. **Wood and Fiber Science**, v. 21, n.2, p.193-206, 1989.
 30. COPANT. Maderas – Selección y colección de muestras. **NORMA PANAMERICANA 458**, 1972a.
 31. COPANT. Maderas – Método de determinación de la contracción. **NORMA PANAMERICANA 462**, (1972b),

32. COPANT. Maderas – Método de ensayo de flexión estática. **NORMA PANAMERICANA 555**, 1973
33. COPANT Maderas – Método de determinación de la compresión parallel al grano. **NORMA PANAMERICANA 464**, 1972c
34. COPANT Maderas – Método de determinación del cizallamiento paralelo al grano. **NORMA PANAMERICANA 463**, 1972d
35. COPANT Maderas – Método de determinación de la dureza. **NORMA PANAMERICANA 465**, 1972e
36. CÔTÉ, WA. Jr.; DAY, AC. Anatomy and ultrastructure of reaction wood. In: CÔTÉ, WA. Jr. **CELLULAR ULTRASTRUCTURE OF WOODY PLANTS**. Syracuse: Syracuse University Press, p.391-418, 1965.
37. CÔTE, WA. Jr., DAY, AC. Wood Ultrastructure of the Southern Yellow Pines. Syracuse: **Technical Publication n. 95**. SUNY, 1969.

38. COWN, DJ. Wood density of radiata pine: its variation and manipulation. **New Zealand Journal of Forestry Science**. v.19, p. 84-94, 1974.
39. COWN, DJ. Radiata pine: wood age and wood property concepts. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v.10, n.3, p.504-507, 1980.
40. CURRY, WT., COVINGTON, SA. Grade stress for european redwood and whitewood. In.: THE PRINCESS RISBOROUGH LABORATORY OF THE BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **The strength properties of timber**. Lancaster: MTP Construction, 1974.
41. DADSWELL, HE. The role of wood anatomy in forest botany. **J. Council Sci. and Indnt. Res.**, v.12, n.2, p.137-43, 1939.
42. DADSWELL, HE. **The growth characteristic and their influence in wood structure and properties**. Div. of Build. Res., 19p. 1957.
43. DADSWELL, HE. Wood structure variation occurring during tree growth and their influence on properties. **Wood Science**, v.1, p.11-32, 1958.
44. DADSWELL, HE., NICHOLLS, JWP. Assessment of wood qualities for tree breeding. I. *Pinus elliottii* var. *elliottii* from Queensland. **Division Forestry Products Tech**. v. 4, 16p. 1960.
45. DESCH, HE. **Timber: it's structure and properties**. London : Mc Millan, 1982. 350 p.
46. DINWOODIE, JM. The relationship between fiber morphology and paper properties: A review of literature. **Tappi**. V. 48, n.8. p.440-446. 1965.
47. DUEÑAS, RS. **Obtención de pulpas y propiedades de lãs fibras para papel**. Guadalajara: Universidad de Guadalajara, 1997. 293p.
48. DUFFIELD, JW. Genetic improvement of wood quality. **Forest Products Journal**. v. 11, n.5, p. 211-213, 1961
49. DURLO, MA. Determinação de variáveis para a caracterização de *Pinus elliottii* com finalidade estrutural. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL (Nova Prata, 6. 1988). **Anais**. Nova Prata, Prefeitura municipal, 1988, v.2, p. 1097-1113.
50. DVORAK, WS., DONAHUE, JK. *Pinus maximinoi* seed collections in Mexico and Central America. CAMCORE. **Bulletin on tropical forestry**. Raleigh. 1988. 47 p.
51. ELLIOTT, KG. Wood density in conifers. Oxford: Commonwealth Forestry Bureau, **Technical Comunication**, 1970
52. ERICKSON, HD., HARRISON, AT., Douglas-fir wood quality studies. Part 1 -

Effects of age and stimulate growth on wood density and anatomy. **Wood Science Technology**. v.8, p.225-265, 1974.

53. FENGEL, D., WEGENER, G. - **Wood. Chemistry. Ultrastructure. Reactions.** Walter de Gruyter. Berlin, 1989.
54. FERREIRA, M. **Estudo da variação da densidade básica de madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus saligna* Smith.** Piracicaba: 1968, 72p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). ESALQ - Universidade de São Paulo.
55. FIELDING, JM. **Pruning *Pinus radiata* in Australia with particular reference to the wood produce.** Melbourne (Iufro Section 41), 1965.
56. FIELDING, JM. The influence of silvicultural practices on wood properties. **International Review of Forestry Research**, v. 2, p. 95-126, 1967.
57. FOELKEL, CEB. Celulose kraft de *Pinus* spp. **O Papel.** ABCP, São Paulo, p.49-67. 1976
58. FREUND, H. **Handbuch der Mikroskopie in der Technik.** Frankfurt: Umschan Verlag., v5, pt. 2, 1970, 379p.
59. FUJIWARA, S., YANG, KC. The relationship between cell length and ring and circumferential growth rate in five Canadian species. **IAWA Bulletin**, v.21, n. 3, p. 335-346, 2000.
60. GERHARDS, CC. Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: and analysis of immediate effects. **Wood and Fibre**, v. 14, n.1, p. 4-36, 1982.
61. GOGGANS, JF. The interplay of environment and heredity as factors controlling wood properties in conifers with special emphasis on their effects on specific gravity. Raleigh: **Technical Report n.11.** North Carolina State University. 1961.
62. GURFINKEL, G. **Wood engineering.** New Orleans: Southern Forest Products Association, 1973. 573 p.
63. GUTH, EB. Variation in wood characters, both within and between individuals of *Pinus elliottii*. **IDIA: Suplemento Forestal**, Buenos Aires, n.8, p. 8-17, 1974.
64. HALLOCK, H. Observations on forms of juvenile core in Loblolly pine. Madison.: **Research note FLP - 0188**, USDA Forest Products Laboratory, 1968.
65. HARADA, H. Ultrastructure and organization of gymnosperm cell walls. In: CÔTÉ, WA, Jr. **Cellular ultrastructure of woody plants.** Syracuse: Syracuse University Press, 1965. p.215-233.
66. HARRIS, JM. **Note on wood density of *Pinus radiata* grown under temperature, sub tropical conditions.** In: IUFRO WORKSHOP (Brisbane: 1977).

67. HIGGINS, HG. Fibras longas e curtas na fabricação de papel. **III° Seminário de Papel e Cartão**. ABCP, São Paulo, 1969.
68. HUGHES, JF. The wood structure of *Pinus caribaea* Morelet in relation to use characteristics, growth conditions and tree improvement. In: BURLEY, J., NIKKLES, DG. **SELECTION AND BREEDING TO IMPROVE SOME TROPICAL CONIFERS**. Oxford: Commonwealth Forestry Institute, 1973, p. 13-22.
69. IPT. **Celulose e papel**. São Paulo: vol I, 2° ed. Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo. 1988.

70. WAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de *Pinus***. Curitiba: 1989. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.
71. JACKSON. LWR.; MORSE. WE. Tracheid length variation in single rings loblolly, slash shortleaf pine. **J. For.**, v.63, p.110-112, 1965.
72. JANKOWSKY, IP. Madeira juvenil: formação e aproveitamento industrial. Piracicaba: **Circular Técnica IPEF**, n.81, 1979, 18p.
73. KELLINSON, RC. Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification. In.: **IUFRO XVII World Congress**. (17. Kioto: 1981) Division 5 Forest Products. p. 77-87.
74. KESLEY, KE. **A critical review of the relationship between the shrinkage and structure of wood**. CSIRO, Melbourne: 1963. 33 p.
75. KEYLWERTH, R. Los cambios de forma de las secciones de la madera. **Holz als Roh-und Werkstoff**, n. 9, 1951.
76. KIBBLEWHITE, RP. Effects of beating and wood quality on Radiata pine Kraft paper properties. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v.3, n.2, p.220-239, 1972.
77. KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Shiede e *Pinus caribaea* Morelet var *hondurensis* Barr e Golf**. Curitiba: 1989. 143p. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) Curso de Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.
78. KLOCK, U.; MUÑIZ, GIB. **Química da madeira**. 2.ed. Curitiba: FUPEF - Série didática n.2/98, 1998. 91p
79. KNIGGE, W.; SCHULTZ, H. **Growndise der Forestbenutzung**. Verlag Paul Parey, Hamburg and Berlin. 1966. 584p
80. KOCH, P. Utilization of the southern pines. Madison: USDA. Forest Service **Agricultural. Handbook**, 2v., 1972. 420p.
81. KOLLMANN, FFP. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones**. Madrid: Tomo I. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 1959. 674p.
82. KOLLMANN, FFP., COTÊ JR., WA. **Principles of wood science and technology**. Berlin: 2v. Springer, 1968.
83. KREMPL, H. Gewicht das Fichtenholzes in Osterich. **Allgemeine Forstzeitung**, v.88, n.4, p. 76-81, 1977.

84. LADRACH, WE. Comparisons between provenances and sources of fourteen conifers in the Colombian Andes after five years. **Research Report**. Investigacion Forestal, Carton de Colombia. n. 105, 8 p. 1985.

85. LARA PALMA, HA. **Determinação de parâmetros elásticos e de resistência e a influência da madeira nas propriedades de compensados de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba: 1994. 167p Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.
86. LAVERS, GM. The strength properties of timber. In.: In.: THE PRINCESS RISBOROUGH LABORATORY OF THE BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **The strength properties of timber.** Lancaster: MTP Construction, P. 1-86, 1974.
87. LEIDUNGGUT, H. **Die Walpflege.** Bern: Verlag Paul Haupt, 1966. 192 p.
88. LEPAGE, ES. Química da madeira. In: **MANUAL DE PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS.** 2.ed. São Paulo: IPT, 1989. v.1. p.69-97.
89. LEWIN, M; GOLDSTEIN, IS. **Wood structure and composition.** Nova York: Marcel Dekker. 1991
90. LUCAS FILHO, FC. **Estudo da influência do teor de umidade e da massa específica aparente sobre a resistência das madeiras de *Pinus elliottii* var *elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba: 1997. 101p. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
91. MATOS, JLM. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** Curitiba: 1997. 117p Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.
92. MATSUNAGA, DK. **Avaliação da utilização de madeira comercial de *Pinus taeda* L. e da adequabilidade da Norma Européia Unificada (CEN), à construção de vigas laminadas coladas.** Curitiba: 1995. 155p Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.
93. MAYER, H. **Waldbau.** Stuttgart: Gustav Fisher Verlag, 1977. 482 p.
94. McALISTER, RH., CLARK III, A. Effect of geographic location and seed source on the bending properties of juvenile and mature loblolly pine. **Forest Products Journal.** Madison, v.4, n. 9ºp. 39-42; 1991.
95. MENDONÇA, MA. **Características da Madeira de *Pinus elliottii* com diferentes idades e propriedades do papel.** Curitiba: 1982. 124p. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) Curso de Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.
96. MITCHELL, HL. **Breeding for high-quality wood.** Madison: USDA. Forest Service. Forest Products Laboratory. Research Paper, n.2050, 1956. 13p.

97. MITTAK, WL., PERRY, JP Jr. *Pinus maximinoi*: its taxonomic status and distribution. **Journal of the Arnold Arboretum**. v. 60, n.3, p. 386-395, 1979.
98. MONTAGNA, RG.; CARON NETO, M.; PETLA, RM.; DA ROSA, SRN. Contribuição ao estudo da densidade básica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (2.:1973: Curitiba). **Anais**, Curitiba: FIEP, 1974, p.252-254
99. MORESCHI, JC. **Levantamento da qualidade da madeira com plantações artificiais de *Pinus elliottii* nos estados do sul do Brasil**. Curitiba: 1975. 162p. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.
100. MUÑIZ GIB. **Descrição da estrutura e ultraestrutura da madeira de cinco espécies de *Prosopis* da Argentina e análise da metodologia**. Curitiba: 1986. 191p. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
101. MUÑIZ GIB. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba: 1993. 235p Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.
102. MUÑIZ, GIB.; CORADIN, VR. **Norma de procedimentos em estudos de anatomia da madeira: II Gimnospermae**. Comissão de estudos CE:11.01.07:002 ABNT. Série técnica. Laboratório de Produtos Florestais. Brasília, 1991
103. NEWMARK, J. **Statistics and Probability in modern life**. New York: 4th ed. Saunders College Publishing, 1988. 651p.
104. NICHOLLS, JWP. The effect of environmental factors on wood characteristics 2 - The effect of thinning and fertilizer treatment on the wood of *Pinus pinaster*. **Silvae Genetica**, v. 20, n. 1, p. 67-73, 1971.
105. NOACK, D., Beziehung zwischen den roshstoff-Eigenschaften und den Anforderung der Verwendung. **Holz als Rohund Werkstoff**, v.34, p.121-126, 1976.
106. NOACK, D., SCHWAB, E., The significance of physical and technological wood properties for the end use of tropical woods. In: PROPERTIES , USES AND MARKETING OF TROPICAL TIMBER (v.2, 1973: Berlin). **Meeting papers**, Berlin: German Foundation for International Development- FAO, 1973, p.35-40.
107. NYLINDER, P. Wood quality and fibre products. In.: IUFRO MEETING (Pretoria: 1973), **Proceedings**. V. 2, P. 832-844, 1973.

108. OHTA, S. The observation of tree ring structure by soft x-ray densiometry (III). The influence of fertilization on ring structure of *Pinus pinaster*. **Moduzai Gakaishi**, v. 27, p.157-162, 1981.
109. PANSWIN, AJ & ZEEUW, C DE. **Textbook of wood technology**. 3ed. New York: Mc Graw-Hill, 1970. 705p.
110. PARKER, H. **Simplified design of structural wood**. New York: J.Wiley, 1979. 269p.
111. PEARSON, RG., GILMORE, RC. Effect of fast growth rate on the mechanical properties of Loblolly pine. **Forest Products Journal**. v. 30, n.5, p. 47-54, 1980.
112. PEREIRA, JCD. **A influência do ritmo de crescimento na densidade da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii***. Piracicaba: 1982, 98p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). ESALQ - Universidade de São Paulo.
113. PEREIRA, JCD. **Formação e controle da mancha marrom em madeira serrada de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii***. Curitiba: 1992. 92p Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.
114. RISI, J., ZELLER, E. **Specific gravity of the wood of black spruce (*Picea mariana*, Mill.) grown on a Hylcomium-cornus site type**. Forest Research Foundation. Laval University, n.6, p. 1-70, 1960.
115. RUDMAN, P., MCKINNELL, FH. Effect of fertilizers on wood density of young radiata pine. **Australian Forestry**, v. 34, p.170-178, 1975.
116. RYDHOLM, SA. **Pulping processes**. London: Interscience Publishers, John Wiley and Sons, Inc., 1965. 1269 p

- 117.SANIO, K. Verber die Grosse der Holzzellenbei der gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris*). **Jahrb. Wiss. Bot**, v.8, p.401-420, 1872.
- 118.SANTINI, EJ., HASELEIN, CR., GATTO, DA. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria: v. 10, n.1, p.85-93, 2000.
- 119.SCARAMUZZI, G. The relationship of fibre wall thickness, fibre diameter, and percentage of summerwood (latewood) to specific gravity. In.: IUFRO MEETING OF WORKING GROUPS ON WOOD QUALITY, SAWING AND MACHINING, WOOD AND TREE CHEMISTRY (Melbourne: 1965), **Proceedings**. Melbourne: CSIRO, 1965. 8p.
- 120.SCHILLING, AC., SCHNEIDER,PR., HASELEIN, CR., FINGER, CAG. Influência de diferentes intensidades de desrama sobre a porcentagem de lenho tardio e quantidade de nós da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii* Engelman. **Ciência Florestal**, Santa Maria: v. 18, n.1, p.115-127, 1998.
- 121.SCHULTZ, RP. Utilization needs as a driving force in timber management research. In.: **FOREST PRODUCTS RESEARCH CONFERENCE** (Madison: 1986).
- 122.SCHNIEWIND, AP. The effect of site and other factors on specific gravity and bending strength of California red fir. **Forest Science**, Madison, v.7, n.2, p. 106-115. 1961.
- 123.SEVERO, ETD. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid**. Curitiba: 1998. 200p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.
- 124.SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry**. Nova York: Academic Press, 1981. 223p.
- 125.SKAAR, **Water in wood**. New York: Syracuse University Press. 1972. 218 p.
- 126.SIAU, JF. **Transport processes in wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 245p.
- 127.SIMIONI, A. **Verwendungsorientierte Technologische Prüfung und vergleichende sortierung des schnittholzes einer schnellwüchsigen Baumart dargestellt na Beispiel der "Plantagen – kiefer" *Pinus radiata* (D.Don.)** Freiburg: 1981. 148p. Inaugural-Dissertation (Doktor) Frostwissenschaftlichen Fakultät der Albert Ludwig – Universität.
- 128.SMOOK, GA., **Handbook for pulp and paper technologists**. Joint Textbook. Committee of the Paper Industry. TAPPI, Atlanta, 1989.
- 129.SPURR, SH., HSIUNG, W. Growth rate and specific gravity in conifers. **J. Forestry**. V. 52, n.3, p. 191-192, 1954.

130. STAMM, AJ. Wood cellulose liquid relationship. **North Carolina Agric. Exp. Station Technical Bulletin**, n. 50, 1962.
131. STAMM, AJ. **Wood and cellulose science**. New York: Ronald Press. 1964. 549p.
132. STEAD, JW., STYLES, BT. Studies of central american pines: a revision of the "Pseudostrobus" group (*Pinacea*). **Botanical Journal of the Linnean Society**. v.89, n. 3, p.249-275, 184.
133. STUMPP, E. Valores físico-mecânicos de *Pinus* spp. em comparação com *Araucaria angustifolia*. I.: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL (7., 1992, Nova Prata), **Anais**. Nova Prata, 1992, p.1413-1420.
134. SUNLEY, JG. Grades stresses for structural timber. In.: THE PRINCESS RISBOROUGH LABORATORY OF THE BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **The strength properties of timber**. Lancaster: MTP Construction, p. 121-140, 1974.
135. TATARANU, D. Influence of some environmental factors on the anatomical structure and density of the wood of *Pinus nigra* seedlings. Revista Padurilor, v. 88, n. 12, p. 648-655, 1973. Apud: **Forestry Abstracts**, Oxford, v. 35, n. 11, 1974.
136. THOMAS, RJ. Wood: formation and morphology. In: LEWIN, M; GOLDSTEIN, IS. **Wood structure and composition**. Nova York: Marcel Dekker Inc. 1991. p.7-47.
137. THUNELL, B. Sortierungs und sicherheitsfragen bei der vervundung von holz fur tragewerke und geruste. **Holz als Roh-und Werkstoff**. v. 16, p. 127-131, 1958.
138. TOMASELLI, I. Comparação da qualidade da madeira de *Araucaria angustifolia*, e *Pinus* spp produzida em reflorestamentos. In.: PESQUISAS EM RECURSOS FLORESTAIS DO ESTADO DO PARANÁ (Curitiba, 1980), **Relatório final**. Curitiba: FINEP/UFPR, 1980.
139. TOMASELLI, I., CASTRO, NS. Qualidade da madeira de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, e sua correlação com as propriedades do papel. In: PESQUISAS EM RECURSOS FLORESTAIS DO ESTADO DO PARANÁ (Curitiba, 1980), **Relatório final**. Curitiba: FINEP/UFPR, 1980.
140. TOMASELLI, I., SCHEFFER, LF., A reação do compensado. **Revista da Madeira**, Curitiba, ano 8, n.45, p.10-14, 1999.
141. TRENDELENBURG, R., MAYER-WEGELIN, H. **Das holz als rohstoff**. Munchen: Carl Hanser Verlag, 1956. 541 p.
142. TSOUJIS, G. **Science and technology of wood**. Nova York: Chapman & Hall, 1991. 494p

143. USDA FOREST SERVICE – Technology transfer, *Pinus taeda* . Disponível:
<http://www2.fpl.fs.fed.us/TechSheets/SoftwoodNA/htmlDocs/pinustaeda.html>
Capturado em: 25/02/2000.
144. VAN BUIJTENEN, JP. Controlling wood properties by forest management. **TAPPI**, Atlanta, v. 52, n.2, p. 257-259, 1969.
145. WANGAARD, F.F. **Fiber characteristics in relation to paper properties**. IUFRO. 1973.
146. WARDROP, AB. Cell wall organization and properties of the xylem. I. Cell wall organization and the variation of breaking load in tension of the xylem in conifer stems. **Aust.J.Sci.Res.** Series B 4, p.391-414, 1951.
147. WATSON, AJ. & DADSWELL, HE, Influence on fibre morphology on paper properties - Part I. Fibre length. **APPITA**. v.14, n.5, p.168-178. 1961.
148. WATSON, AJ. & DADSWELL, HE, Influence on fibre morphology on paper properties - Part II. Early wood and late wood. **APPITA**. v.15, n.6, p.116-128. 1962.
149. WENZL, HFJ. **The Chemical Technology of Wood**. New York: Academic Press. 1970.
150. WHEELER, EA. **Softwood Anatomy**. Disponível:
<http://courses.ncsu.edu/classes/wps202002/Sftwdht.htm>.
Capturado: 15/01/2000
151. WILSON, TRC. Strength-moisture relations for wood. Washington : USDA, Technical Bulletin, n. 282, 1932. 88 p.
152. WRIGHT, JA & BAYLIS, B. Volume, pulp and paper-making traits of *Pinus maximinoi* provenances planted at two sites in South Africa. **South-African-Forestry-Journal**. n.165, p.37-40, 1993.
153. WRIGHT, JA; JAMEEL, H; DVORAK, W. Laboratory Kraft pulping of juvenile tropical pines: *Pinus patula*, *P. tecunumanii*, *P. maximinoi* and *P. chiapensis*. **Tappi Journal**, v.79, n.4, p.187-190, 1996.
154. WRIGHT, JA., MALAN, FS. Variation in wood and tracheid properties of *Pinus maximinoi*, *P. pseudostrobus* and *P. patula*. **IAWA Bulletin**, v.12:, n.4, p.467-475, 1991.

155. WRIGHT, JA., WESSELS, A. Laboratory scale pulping of *Pinus pseudostrobus*, *P. maximinoi* and *P. patula*. **IPEF International**, Piracicaba, n.2, p.39-44, 1992.
156. ZOBEL, B., RHODES, RR. Relationship of wood specific gravity in Loblolly pine to growth and environmental factor. Texas Forest Service. **Technical reprint**. v.11, p.1-32, 1965
157. ZOBEL, B., BLAIR, R. Wood and pulp properties of juvenile wood and topwood of the southern pines. **Appl. Polymer Symp.** n. 28, p. 421-433, 1976.
158. ZOBEL, B., WEBB, C. HENSON., F. Core or juvenile wood of loblolly and slash pine trees. **TAPPI**, v 42, n. 5, p.345-356, 1959.