

JOSÉ TARCÍSIO DA SILVA OLIVEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA A
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Volume I

**Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Engenharia.**

**São Paulo
1997**

JOSÉ TARCÍSIO DA SILVA OLIVEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA A
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Volume I

**Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Engenharia.**

**Área de Concentração:
Engenharia de Construção Civil e Urbana**

**Orientador:
Prof. Dr. João Cesar Hellmeister**

1997

A G R A D E C I M E N T O S

- À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de realização do doutoramento.
- Ao Prof. Dr. João Cesar Hellmeister, pela amizade, orientação segura e incentivo durante todo o curso, além de seus exemplos para a vida profissional.
- Ao Prof. Dr. Mário Tomazello Filho, pela amizade, incentivo e apoio por colocar a disposição o Laboratório de Anatomia e Identificação de madeiras do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, para a realização de grande parte do trabalho.
- Ao Prof. Dr. João Walter Simões, pela amizade e empenho junto ao Departamento de Ciências Florestais da ESALQ, na cessão da madeira para este estudo.
- Ao Prof. Dr. Carlito Calil Junior, chefe do Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira - LaMEM/EESC/USP, ao apoio sempre que necessário, ao desenvolvimento de atividades inerentes ao curso e a tese.

- Ao Professores Dr. Márcio Rabelo Nahuz e Dr. Antonio Tadeu de Lelis, pelo apoio dado para realização de ensaios biológicos, entre outros, na Divisão de Madeira do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.

- Aos técnicos do LaMEM, Cidão, Roberto, José Francisco, Arnaldo, Silvio, Jaime, Bragato e a secretária Tânia, pela amizade e apoio dispensado durante o decorrer da pesquisa.

À técnica Maria Chaves Bermudez, do Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeira do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, bem como a Engenheira Florestal Alina e aos estagiários André, Édson e Lívia, pela amizade, e apoio às atividades ali desenvolvidas.

- Aos técnicos Carlos Fernandes e Carlos Maria da EECF de Anhembi, e aos coletores de sementes Leonardo e José Cardoso além do técnico Israel Vieira do IPEF, pelo apoio nas operações de abate e transporte da Madeira até a ESALQ/USP.

- Ao técnico Décio Kazuo do Laboratório Biológico, da Divisão de Madeiras do IPT, pela amizade e apoio na condução dos ensaios de cupins.

- Ao técnico Reginaldo e a estagiária Adriana, do Laboratório de Micologia da Divisão de Madeira do IPT, pelo apoio na condução do ensaio de apodrecimento acelerado.

- Ao técnico Antonio Carlos Barbosa, do Laboratório de Anatomia de Madeira da Divisão de Madeira do IPT, pela amizade, profissionalismo raro, e apoio na confecção de lâminas histológicas da madeira do estudo.

- Às bibliotecárias Cida e Paula, da Divisão de Madeiras do IPT, pela amizade e apoio incansável durante o levantamento bibliográfico da tese.

- Aos pesquisadores Geraldo Zenid, Sérgio Brazolin, Beatriz e Gonzalo, pela amizade e apoio na condução de ensaios anatômicos e de durabilidade natural.

- Ao fotógrafo Álvaro do IPT, pela presteza na realização de parte das fotografias.

À secretária Fátima, do Departamento de Construção Civil (PCC) da EPUSP, pelo atendimento sempre preciso, quando solicitada.

- Ao técnico Fernando Stanciola, do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, pela amizade, e apoio na confecção de lâminas histológicas da madeira em estudo.

- Aos colegas de pós-graduação do LaMEM, PCC, IPT, ESALQ, pela convivência agradável durante todo o doutoramento.

• A todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

Tese de Doutorado - José Tarcísio da Silva Oliveira - 1997

ERRATA

Volume I

ALTERAÇÃO E/OU CORREÇÃO (ORTOGRAFIA) DE REDAÇÃO NOS AGRADECIMENTOS

Linha	Onde se lê:	Leia-se:
4	colocar a ...	colocar à ...
5	Identificação de madeiras ...	Identificação de Madeiras ...
10	ao apoio ...	pelo apoio ...
11	e a tese.	e à tese.
13	de Madeira do ...	de Produtos Florestais do ...
16	e a secretária ...	e à secretária ...
24	transporte da Madeira ...	transporte da madeira ...
25	Divisão de Madeiras do ...	Divisão de Produtos Florestais do ...
27	e a estagiária ...	e à estagiária ...
28,30,32	de Madeiras do ...	de Produtos Florestais do ...
36	Ao fotografo ...	Ao fotógrafo...

ALTERAÇÃO E/OU CORREÇÃO (ORTOGRAFIA) DE REDAÇÃO NO RESUMO

Parágrafo	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
2	7	a nível de ...	ao nível de ...
3	9	propriedades e ou ...	propriedades e/ou ...

ALTERAÇÃO E/OU CORREÇÃO (ORTOGRAFIA) DE REDAÇÃO EM FIGURAS E QUADROS

P*	F	Q	L	Onde se lê:	Leia-se:	Outras
37	14		4	forma a casca.	formam a casca.	
46	18		1	uma gimnospermas ...	uma gimnosperma ...	
49		9	7	<i>Quercus rubia</i> ...	<i>Quercus rubra</i> ...	
82		10	16	Teor de teor de ...	Teor de ...	
102	25		1	angelim vermelho ...	angelim pedra ...	
137		18		<i>E. pilulares</i> ...	<i>E. pilularis</i> ...	
143	28					cota menor assinalada por 60, substituir por 30.

* - P = Página; F = Figura; Q = Quadro e L = Linha.

ALTERAÇÃO E/OU CORREÇÃO (ORTOGRAFIA) DE REDAÇÃO NO TEXTO

Pág. ¹	Par.	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
4	-	29	pronta assumir ...	pronta a assumir ...
5	-	26	a níveis projectuais ...	a nível de projeto ...
9	-	1	a necessidade ...	à necessidade ...
9	-	7	A nível de ...	Ao nível de ...
11	3	4	(logleaf pine) ...	(longleaf pine) ...
11	3	5	As espécies aqui ...	As principais espécies aqui ...
11	5	5	da região sul ...	das regiões sudeste e sul ...
12	2	3	como base ...	com base ...
12	2	6	civil	civil:
12	3	3	<i>Myracroduon</i> ...	<i>Myracrodruon</i> ...
12	3	5	chamado comumente ...	chamada comumente ...
13	2	4	<i>Holocalyx</i> ...	<i>Holocalyx</i> ...
13	2	5	<i>Ptrogyne</i> ...	<i>Pterogyne</i> ...
13	3	1	américas ...	Américas ...
13	3	5	<i>Piptadenia</i> , vinhático pertencente ao <i>Platymenia</i> e angelim-vermelho ao <i>Dinizia</i> .	<i>Anadenanthera</i> e <i>Parapiptadenia</i> , vinhático pertencente ao <i>Platymeniae</i> e angelim-vermelho ao <i>Dinizia</i> .
13	4	1	Papilionacea ...	Papilionaceae ...
13	4	4	<i>Diptery</i> ...	<i>Dipteryx</i> ...
13	5	2	gênero <i>Dalbergia</i> , e as sucupiras, representadas em <i>Dipplotropis</i> e <i>Machaerium</i> .	gêneros <i>Dalbergia</i> , e as sucupiras, representadas em <i>Dipplotropis</i> e <i>Bowdichia</i> .
14	-	4	(tajuba) e <i>Clarisia racemosa</i> (oiticica) ...	(amoreira/taiúva) e <i>Clarisia racemosa</i> (guariúba) ...
14	1	3	densidade média, boa durabilidade ...	densidade baixa a média, baixa durabilidade ...
14	1	4	construção civil.	construção civil, para a fabricação de painéis compensados (capa), devido cor e textura agradáveis.
14	3	2	pode chegar ...	podem chegar ...
14	4	3	torna-se imperativo ...	torna-se imperativa ...
17	3	1	peso específico ...	massa específica ...
17	3	2	1,590 a 1,630 ...	1,590 a 1,630 g/cm ³ ...
18	-	1	1,482 a 1,489 ...	1,482 a 1,489 g/cm ³ ...
20	1	1	Deve-se se lembrar ...	Deve-se lembrar ...
23	1	1	A nível ...	Ao nível ...
26	4	3	parênquima do raio ...	parênquima radial ...
26	4	5	poros ...	vasos ...
26	5	3	nos lúmens ...	nos lumes ...
28	3	1	Quanto a lignina ...	Quanto à lignina ...

¹ - Pág. = Página; Par. = Parágrafo.

ALTERAÇÃO E/OU CORREÇÃO (ORTOGRAFIA) DE REDAÇÃO NO TEXTO

Pág.	Par.	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
28	3	5	o último ...	o último ...
29	2	1	hemiceluloses separada ...	hemiceluloses separadas ...
31	-	4	os tipos ...	dos tipos ...
37	2	3, 6	angulo ...	ângulo ...
38	-	1	pequeno angulo ...	pequeno ângulo ...
38	-	5	o orientação ...	a orientação ...
38	2	1	fica a desorganização das ...	destaca-se a falta de organização nas ...
40	-	13	entre lúmens ...	entre lumes ...
51	-	9	apresentar de diferentes tipos como o escasso ...	apresentar diferentes tipos como o difuso ...
51	-	12	de 2 a 4 células; aparecem ...	de 2 a 4 células (difuso em agregado); aparecem ...
53	1	13	e são muitas ...	e se são muitas ...
53	2	5	fusiformes, estratificadas ...	fusiformes, seriadas estratificadas ...
53	3	4	principalmente devido ao número ...	principalmente ao número ...
54	-	3	a massa ...	à massa ...
54	1	10	a flexão ...	à flexão ...
54	1	10, 11	modulo ...	módulo
55	-	1	apresentam um transição ...	apresentam uma transição ...
56	1	8	é monoatômico ...	é monoatômica ...
57	1	9	conclusões importante ...	conclusões importantes ...
57	1	14	não é afetado ...	não é afetada ...
58	1	1	a taxa de ...	à taxa de ...
58	1	10	com relação a ...	com relação à ...
59	-	2	Quanto a variação ...	Quanto à variação ...
60	1	9	nos lúmens das ...	nos lumes das ...
60	2	2	existente entre ...	existentes entre ...
61	1	3	o teor umidade ...	o teor de umidade ...
61	2	5	relacionado ao teor ...	relacionada ao teor ...
61	2	7	como tintas e vernizes, não são bem sucedidos em ...	com tintas e vernizes, não são bem sucedidas em ...
63	-	5	menor angulo ...	menor ângulo ...
63	3	2	espécies florestal ...	espécie florestal ...
67	2	1	A nível ...	Ao nível ...
69	-	5	ao massa específica ...	a massa específica ...
69	1	16	foi verificado ...	foi verificada ...
71	-	1	dos elementos dos vasos; ...	dos elementos de vasos; ...
74	1	12	na industria de ...	na indústria de ...
75	1	4	fendilhamento acentuada ...	fendilhamento acentuado ...
75	2	2	como menos ...	com menor ...
75	2	3	nestas ultimas ...	nestas últimas ...

ALTERAÇÃO E/OU CORREÇÃO (ORTOGRAFIA) DE REDAÇÃO NO TEXTO

Pág.	Par.	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
75	2	6	destas espécies ...	destas tensões ...
75	2	11	quanto a produção ...	quanto à produção ...
75	2	12	relação a madeira ...	relação à madeira ...
76	1	5	face a pequena ...	face à pequena ...
76	3	10	é sem dúvida alguma, impor- tante no ...	são, sem dúvida alguma, im- portantes no ...
82	1	5	por tiloses ...	por tilos ...
85	2	15	produza madeira de qualidade inferior, que as florestas ...	produzam madeira de qualida- de inferior, às florestas ...
86	1	12	foi utilizada ...	foi utilizado ...
89	1	6	removida dos lúmens ...	removida dos lumes ...
89	1	15	obstruídos por tiloses.	obstruídos por tilos.
90	1	15	Estados Unidos é por de ...	Estados Unidos, é de ...
91	1	1	Käärik, classifica ...	KÄÄRIK apud Allsopp; Seal (1986), classifica ...
95	1	7	teores de umidades ...	teores de umidade ...
101	-	20	a velocidade ...	à velocidade ...
104	-	8	considera a nível ...	consideram a nível ...
111	3	1	Tais compostos de natureza fungicida e ou inseticida ...	Tais compostos, de natureza fungicida e/ou inseticida ...
112	1	9	desempenha na ...	desempenham na ...
112	1	16	presente em ...	presentes em ...
113	2	3	proveniente de ...	prevenientes de ...
114	-	10	de tal madeira.	de tal madeira, ...
114	-	11	quanto a resistência ...	quanto à resistência ...
118	-	2	recém desdobradas.	recém desdobrada.
118	6	2	papeis e ...	papéis e ...
120	2	8	nos lúmens das ...	nos lumes das
123	2	8	com tipo de ...	com o tipo de ...
123	2	9	dar a madeira.	dar à madeira.
124	1	3	respeito a quantidade ...	respeito à quantidade ...
124	1	5	que o produto, alcança ...	que o produto alcança ...
125	-	2	uma redução ...	à uma redução ...
127	-	21	os lúmens das ...	os lumes das ...
133	3	5	consideram importante ...	consideram importantes ...
133	3	14	numero de ...	número de ...
136	2	1, 2	As parcelas experimentais das quais foram retiradas as madei- ras deste estudo, possuem área de aproximadamente 1 ha cada, para as 7 espécies estudadas.	As madeiras das 7 espécies estudadas foram retiradas de parcelas experimentais (popula- ções-base ou testes de proce- dências/progênes).
138	-	1	definido os valores ...	definidos os valores ...
138	1	2	da unidade ...	da Estação ...
138	1	3	experimental de ...	Experimental de ...

ALTERAÇÃO E/OU CORREÇÃO (ORTOGRAFIA) DE REDAÇÃO NO TEXTO

Pág.	Par.	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
138	1	6	somatória do volume de madeira produzido nos ...	somatória dos volumes de madeira produzidos nos ...
138	1	7	divididos pelas idades das parcelas. A figura 26, mostra uma ...	divididos pela idade das árvores. A figura 26, mostra a ...
139	2	3	diâmetro comercial ...	diâmetro mínimo comercial ...
139	2	20	surgimento de tensões ...	surgimento de sinais de tensões ...
139	4	2	e respectiva identificação de um disco de madeira de <i>E. citriodora</i> .	e identificação de um disco de madeira da respectiva base de <i>E. citriodora</i> .
140	1	3	forma e conicidade das árvores.	forma do fuste e conicidade das toras.
140	1	7,8,9	da seção ...	do segmento ...
141	-	6	A conicidade (C) foi ...	A conicidade (C) das toras foi ...
141	2	2	uma baqueta radial ...	uma bagueta radial ...
142	1	4	planchas de ...	pranchas de ...
144	2	8	massa anidro ...	massa anidra ...
146	1	5, 6	Florestais e Têxteis do ...	Florestais do ...
146	4	1	de vasos por ...	de vasos/poros por ...
147	3	1	Encerrado os estudos anatômicos, foram tiradas fotomicrografias dos três ...	Encerrados os estudos anatômicos foram tiradas fotomicrografias dos cortes dos três ...
147	4	3	utilizadas madeiras ...	utilizadas amostras de madeiras...
147	5	3	cp's foi ...	corpos-de-prova foi ...
151	2	2	Florestais e Têxteis do ...	Florestais, do ...
153	2	5	decorrentes dessa ...	decorrente dessa ...
154	1	5	um total trinta ...	um total de trinta ...

Volume II

ALTERAÇÃO E/OU CORREÇÃO (ORTOGRAFIA) DE REDAÇÃO EM FIGURAS

Página	Figura	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
232	41	33	reste de ...	teste de ...
369	98	1	elasticidade a flexão ...	elasticidade à flexão ...
371	99	2	no direção ...	na direção ...

ALTERAÇÃO E/OU CORREÇÃO (ORTOGRAFIA) DE REDAÇÃO NO TEXTO

Pág.	Par.	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
161	2	2	sua adequacidade às ...	sua adequação às ...
162	-	3	pose-se usar ...	pode-se usar ...
162	1	1	Quanto a produtividade ...	Quanto à produtividade ...
164	2	4	a exceção ao ...	à exceção ao ...
165	-	2	das parcelas de aproximada- mente um hectare cada.	daquelas populações.
168	3	3	pose-se afirmar ...	pode-se afirmar ...
169	1	1	Antes de qual ...	Antes de se saber qual ...
171	-	2	do vale do aço - MG ...	do Vale do Aço - MG ...
171	-	5, 6	(angico vermelho) ...	(angico-preto/rajado) ...
172	1	1	que a exceção ...	que à exceção ...
173	2	2	dar a madeira ...	dar à madeira ...
173	5	3	caracterizam por ...	caracterizam-se por ...
173	6	1	ocupa do ...	ocupa no ...
177	4	1	face a necessidade ...	face à necessidade ...
184	1	3	encontrado no base.	encontrado na base.
185	-	4	grandes lúmens ...	grandes lumes ...
192	1	5	podemos obter ...	pode-se obter ...
193	2	2	da árvores ...	da árvore ...
193	2	9	do qual de ...	do qual se ...
197	1	1	ser considerada ...	ser consideradas ...
197	1	8	<i>globulos</i> , ...	<i>globulus</i> , ...
198	2	2	do meio do tronco ...	de 25% do tronco ...
202	-	1	adequacidade as diferentes ...	adequação às diferentes ...
208	-	19	lúmens que ...	lumes que ...
208	-	26	de lúmens ...	de lumes ...
210	3	15	tendência estabilização ...	tendência de estabilização ...
215	1	19	já nos primeiras idade ...	já nas primeiras idades ...
221	-	5	poderá estar mais intimamente relacionada a textura, que sua vez influenciará ...	está mais intimamente relacio- nada a textura, que por sua vez, influenciará ...
221	-	8	estudo, principalmente à- quela ...	estudo se aplica, principalmen- te àquela ...
229	2	2	a exceção ...	à exceção ...
231	3	7	de significância 5%.	de significância de 5%.
234	-	1	estudo são considerados ...	estudo como sendo ...
235	1	7	estatisticamente aqueles ...	estatisticamente daqueles ...
235	2	3	apresentar dificuldades ...	apresentar dificuldade ...
236	2	1	Uma vez não são ser ...	Uma vez não ser ...
236	3	2	cinco arvores ...	cinco árvores ...
236	3	4	inclinada e de ...	inclinada ou ondulada e de ...
236	3	5	imperceptível.	imperceptíveis.
237	-	1	ausência de elementos vascula- res.	ausência de poros (elementos vasculares).

ALTERAÇÃO E/OU CORREÇÃO (ORTOGRAFIA) DE REDAÇÃO NO TEXTO

Pág.	Par.	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
237	-	2	região central do raio ...	região intermediária entre medula e periferia do tronco ...
237	1	2	e também em ...	e também difuso em ...
237	2	9	os elementos na vertical ...	os elementos de vaso na vertical ...
237	2	10	por tiloses ...	por tilos ...
237	2	11	predomínio daquelas ...	predomínio daqueles ...
240	1	5	e gosto imperceptível ...	e gosto imperceptíveis ...
240	1	7	de elementos vasculares.	de poros (elementos vasculares).
240	3	5, 6	com tamanho pequeno ...	pequenos ...
240	3	8	apresentando tiloses ...	apresentando tilos ...
243	1	8	e gosto imperceptível.	e gosto imperceptíveis.
243	1	9	ausência de vasos.	ausência de poros (vasos).
243	3	2	freqüência varias ...	freqüência varia ...
243	3	5	com tamanho pequenos na ...	pequenos na ...
243	3	8	de tiloses.	de tilos.
246	1	1	sendo em ...	sendo que em ...
246	1	9	imperceptível.	imperceptíveis.
246	1	11	finas e elementos vasculares maiores.	finas e poros (elementos vasculares) maiores.
246	3	6	sendo raro os múltiplos de 2 e 3, de seção oval a circular com tamanho pequenos na ...	sendo raros os múltiplos de 2 e 3, de seção oval a circular, pequenos na ...
246	3	9	com tiloses presentes ...	com tilos presentes ...
249	3	5, 6	com tamanho pequenos ...	pequenos ...
249	3	8	de tiloses ...	de tilos ...
252	1	5	e gosto imperceptível.	e gosto imperceptíveis.
252	2	2	apotraqueal escasso.	apotraqueal difuso escasso ...
252	3	4, 5	de tamanho pequenos ...	pequenos ...
252	3	7	apresentando tiloses de ...	apresentando tilos de ...
255	1	7	freqüência vascular.	freqüência de poros.
255	3	6, 7	e de tamanho pequenos ...	pequenos ...
255	3	9	de tiloses de ...	de tilos de ...
255	3	11	64 µm.	6,4 µm.
260	1	10	por tiloses ...	por tilos ...
260	3	5, 8	lúmens ...	lumes ...
261	-	5	tiloses ...	tilos ...
264	1	7	última uma uma referência ...	última uma referência ...
266	-	14	ser pratica ...	ser prática ...
267	2	1	Observando-se o quadro 45, dentro uma mesma espécie, a exceção ...	Observa-se no quadro 45 que dentro de uma mesma espécie, à exceção ...
274	3	5	que a exceção ...	que à exceção ...

ALTERAÇÃO E/OU CORREÇÃO (ORTOGRAFIA) DE REDAÇÃO NO TEXTO

Pág.	Par.	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
275	1	17	é o angulo ...	é o ângulo ...
276	2	5	pinheiro do brasileiro ...	pinheiro brasileiro ...
280	2	3	a exceção àquela ...	à exceção àquela ...
283	1	10	direção a casca ...	direção à casca ...
283	3	1	próximo a medula ...	próximo à medula ...
292	3	3	A exceção aos ...	À exceção aos ...
294	2	18	açucares ...	açúcares ...
299	-	9	quadro 1, ...	quadro 52, ...
304	4	1	A exceção da ...	À exceção da ...
311	1	7	ser muito inferior as ...	ser muito superior às ...
312	2	2	quanto a durabilidade ...	quanto à durabilidade ...
313	3	1	ligados a qualidade ...	ligados à qualidade ...
314	-	11	quanto a possibilidade ...	quanto à possibilidade ...
316	-	17	a exceção de ...	à exceção de ...
320	4	1	dentro da árvores ...	dentro da árvore ...
333	2	2	ao longo do tronco de ...	no sentido medula-casca de ...
367	1	11	também conhecido ...	também conhecida ...
374	1	7	espaço mo mercado ...	espaço no mercado ...
374	2	2	as quais incluem ...	às quais incluem ...
377	3	5	em decorrência ...	em decorrência de ...
378	1	9	que às demais ...	que as demais ...
378	2	4	a adequacidade daquelas ...	a adequação daquelas ...
380	1, 2	5,9,10	a exceção ...	à exceção ...
382	-	3	quanto à forma ...	quanto ao fator de forma ...
382	-	18	A exceção dos ...	À exceção dos ...
383	-	13	da metade ...	de 25% ...
384	-	12	freqüência vascular ...	freqüência de vasos ...
384	-	21	freqüência vascular ...	freqüência destes ...
384	-	24	terão influencia ...	terão influência ...
385	-	17	à de <i>E. paniculata</i> ...	a de <i>E. paniculata</i> ...
385	-	21	A exceção das madeiras de <i>E. tereticornis</i> e <i>E. pilularis</i> , às demais ...	À exceção das madeiras de <i>E. tereticornis</i> e <i>E. pilularis</i> , as demais ...
385	-	30	respeito as relações ...	respeito às relações ...
390	-	8	Angulo microfibrilar ...	Ângulo microfibrilar ...
406	-	15	tiloses ...	tilos ...
412	-	18	Tilose ...	Tilos ² ...
413	-	13	proteção contra	proteção contra microorganismos.
413	-	17	microorganismos. ³	-

² - Após a definição de tilos, acrescentar o termo Tilose, definindo como o processo de formação dos tilos.

³ - Ignorar a palavra.

SUMÁRIO

Volume I

Resumo	
“Abstract”	
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	9
3 REVISÃO DE LITERATURA	10
3.1 Classificação das Árvores Produtoras de Madeiras	10
3.1.1 Gimnospermas	10
3.1.2 Angiospermas	12
3.2 Composição Química da Madeira	15
3.2.1 Celulose	16
3.2.2 Hemiceluloses	19
3.2.3 Lignina	22
3.2.4 Constituintes Secundários - extrativos	26
3.2.5 União dos Principais Componentes da Parede Celular da Madeira	28
3.2.6 Atuação dos Constituintes Químicos nas Propriedades e Desempenho da Madeira	30
3.2.6.1 Influência dos Componentes Principais	31
3.2.6.2 Influência dos Componentes Secundários	31
3.3 Formação, Anatomia e Propriedades Físicas da Madeira	35
3.3.1 Formação da Madeira	35
3.3.1.1 Formação e Estrutura da Parede Celular	37
3.3.2 Elementos Anatômicos da Madeira	39
3.3.2.1 Anatomia das Coníferas	41
3.3.2.2 Anatomia das Folhosas	47
3.3.2.3 O Estudo da Anatomia da Madeira	49

3.3.2.3.1 Macroscopia	50
3.3.2.3.2 Microscopia	51
3.3.3 Propriedades Físicas da Madeira	53
3.3.3.1 Densidade Aparente	54
3.3.3.2 Teor de Umidade	59
3.3.3.3 Retratibilidade	61
3.4 Aspectos Importantes Que Devem Ser Considerados ao Trabalhar com Madeira de Eucalipto	65
3.4.1 Gênero <i>Eucalyptus</i>	65
3.4.2 Madeira Juvenil	68
3.4.3 Tensões de Crescimento	72
3.4.4 Sistemas de Desdobro	76
3.4.5 Secagem e Suas Conseqüências	77
3.4.5.1 Relação Água-Madeira	78
3.4.5.2 Conseqüências da Secagem	82
3.4.5.3 Métodos de Secagem	87
3.4.6 Biodeterioração da Madeira	90
3.4.6.1 Microorganismos	90
3.4.6.1.1 Desenvolvimento e Características de Ataque dos Principais Microorganismos que Colonizam a Madeira	95
3.4.6.2 Insetos	103
3.4.6.3 Xilófagos Marinhos	108
3.4.7 Preservação da Madeira	109
3.4.7.1 Durabilidade Natural	110
3.4.7.2 Preservativos de Madeira	114
3.4.7.2.1 Preservativos Oleosos	115
3.4.7.2.2 Preservativos Hidrossolúveis	119
3.4.7.2.3 Ignífugos, Protetores de Superfície e Outros	122
3.4.7.3 Processos de Tratamento	124
3.4.7.3.1 Processos Sem Pressão	124
3.4.7.3.2 Processos Industriais ou de Pressão	126
3.4.7.4 O Conceito de Classes de Risco	128

3. 4. 7. 4. 1 Aspectos de Proteção Relacionados às Construções de Madeira	133
4 MATERIAIS E MÉTODOS	136
4. 1 Abate das Árvores, Medições e Observações Feitas Durante a Operação	139
4. 2 Manuseio dos Discos de Madeira em Laboratório	141
4. 3 Desdobro das Toras	142
4. 4 Teor de Umidade e Densidade Básica da Madeira	143
4. 5 Anatomia da Madeira	144
4. 5. 1 Mensuração de Fibras	145
4. 5. 2 Descrição Anatômica Qualitativa	145
4. 5. 3 Descrição Anatômica Quantitativa	146
4. 5. 4 Fotomicrografia	147
4. 6 Retratibilidade e Massa Específica Aparente da Madeira	147
4. 7 Durabilidade Natural da Madeira	151
4. 7. 1 Ensaio de Cupins de Madeira Seca	151
4. 7. 2 Ensaio de Apodrecimento Acelerado	153
4. 8 Densitometria de Raios-X	155
4. 9 Estimativas de Algumas Propriedades Mecânicas da Madeira	159

Volume II

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	161
5. 1 Alguns Aspectos Dendrométricos das Árvores Estudadas	161
5. 1. 1 Produtividade	161
5. 1. 2 Altura e Diâmetro das Árvores	164
5. 1. 3 Forma da Árvore	165
5. 1. 4 Volume de Madeira e Casca	169
5. 1. 5 Relação Cerne-Alburno	173
5. 2 Observações Durante o Abate e Desdobro das Toras	176
5. 3 Teor de Umidade e Densidade Básica da Madeira	178
5. 3. 1 Teor de Umidade da Madeira	178
5. 3. 2 Densidade Básica da Madeira	186

5.4 Anatomia da Madeira	204
5.4.1 Mensuração de Fibras	205
5.4.2 Frequência e Diâmetro Tangencial dos Vasos	218
5.4.3 Outros Parâmetros Quantitativos	231
5.4.4 Descrição Anatômica Qualitativa	235
5.4.4.1 <i>Eucalyptus citriodora</i>	236
5.4.4.2 <i>Eucalyptus tereticornis</i>	240
5.4.4.3 <i>Eucalyptus paniculata</i>	243
5.4.4.4 <i>Eucalyptus pilularis</i>	246
5.4.4.5 <i>Eucalyptus cloeziana</i>	249
5.4.4.6 <i>Eucalyptus urophylla</i>	252
5.4.4.7 <i>Eucalyptus grandis</i>	255
5.5 Umidade de Equilíbrio Higroscópico, Densidade Aparente e Retratabilidade da Madeira	263
5.5.1 Umidade e Densidade Aparente	264
5.5.2 Retratabilidade da Madeira	271
5.5.2.1 Método Brasileiro	273
5.5.2.2 Método Internacional	288
5.5.3 Correlações entre Parâmetros de Retratabilidade	290
5.6 Durabilidade Natural da Madeira	296
5.6.1 Ensaio de Cupins de Madeira Seca	296
5.6.2 Ensaio de Apodrecimento Acelerado	304
5.7 Aspectos de Qualidade da Madeira para a Construção Civil	313
5.7.1 Relações entre Propriedades Físicas e Propriedades Anatômicas e Durabilidade Natural	314
5.7.2 Estudo da Densitometria de Raios-X	320
5.7.3 Estimativas de Algumas Propriedades Mecânicas	366
5.7.4 Caracterização e Verificação da Possibilidade de Utilização das Madeiras em Estudo na Construção Civil	373
6 CONCLUSÕES	382

7 GLOSSÁRIO DOS PRINCIPAIS TERMOS RELACIONADOS À TECNOLOGIA DA MADEIRA	389
8 BIBLIOGRAFIA	414

RESUMO

A utilização racional da madeira como material de construção, é obtida somente com o conhecimento de sua constituição química e anatômica, que irão influenciar nas suas propriedades e adequação aos mais diferentes propósitos gerais.

Devido à necessidade de um estudo mais profundo das características da madeira e respectiva adequação, nas mais variadas formas de utilização na construção civil, principalmente em relação às madeiras de reflorestamento, este trabalho teve os seguintes objetivos: a) - demonstrar cientificamente aos profissionais ligados à Engenharia Civil, a utilização da madeira de eucalipto como alternativa para o setor da construção civil; b) - a nível de embasamento teórico-bibliográfico a discussão de aspectos relacionados aos principais grupos de plantas produtoras de madeira, a composição química e anatômica, bem como relações com propriedades da madeira, o gênero *Eucalyptus* e aspectos envolvidos na utilização de sua madeira; e c) - elaboração de um glossário, com definições dos principais termos relacionados à tecnologia da madeira.

Neste estudo foram utilizadas madeiras das espécies de *Eucalyptus citriodora*, *E. tereticornis*, *E. paniculata*, *E. pilularis*, *E. cloeziana*, *E. urophylla*, e *E. grandis*, com idade média de aproximadamente dezesseis anos, provenientes da Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi-SP, do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP. Com a utilização da madeira de trinta e cinco árvores, a parte experimental foi abrangida por estudos de parâmetros dendrométricos, teor de umidade, densidade básica, anatomia, retratibilidade, durabilidade natural, densitometria de raios-X, entre outros. As propriedades e ou características, foram estudadas levando em consideração principalmente a variação radial e ao longo do tronco das árvores. Os ensaios experimentais foram desenvolvidos no Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras da ESALQ/USP, em laboratórios do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, e também no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras - LaMEM/EESC/USP.

Foram observados perfis distintos da variação de teor de umidade, densidade, retratibilidade, dimensões dos elementos anatômicos, com comportamento diferenciado das espécies de madeira quanto à durabilidade natural, avaliada pelo desgaste provocado por cupins de madeira seca e perda de massa causada por fungo apodrecedor. Conclui-se neste estudo que a madeira de eucalipto, proveniente de árvores de idade mais avançada, poderão substituir as espécies nativas tradicionais na construção civil e também a necessidade de uma política sustentável de cultivo das espécies estudadas e de outras igualmente promissoras.

ABSTRACT

Considering the necessity of a study of the wood characteristics and their adequateness for the use, the objectives of this study were: - to demonstrate scientifically to the civil engineer, the wood of the eucalypt as an utilization alternative in civil construction; - at a bibliografic level to discuss the main groups of plants producer of wood, the anatomical and the chemical composition, and relationships with wood properties and performance in the aplications, the genus *Eucalyptus* and aspects of his utilization; and - development of a glossary with the terms associated to wood technology.

Wood of the species *Eucalyptus citriodora*, *E. tereticornis*, *E. paniculata*, *E. pilularis*, *E. cloeziana* and *E. grandis* was used, with thirty-five trees from the Anhembi Forest Sciences Experimental Station, of the University of São Paulo, Brazil. In the experimental study, the dendrometrics parameters, moisture content, specific gravity, anatomy, dimensional stability, natural durability, determination of wood density by X-rays densitometry, and others were evaluated. The properties were evaluated in the radial direction and with height of the tree.

Distinct profiles of variation in the moisture content, shrinkage, size of the anatomical elements and different performance in relation to natural durability were noticed.

It was concluded that eucalypt wood, obtained from advanced age trees, can replace the native traditional species in civil construction and also the necessity of a sustainable reforestation policy with the studied species and others equally promising.

1. INTRODUÇÃO

A atual conjuntura é forçosamente estabelecida por uma nova ordem das relações internacionais. Principalmente no tocante a globalização econômica, na qual mediante o ordenamento de países de regiões afins, e os mercados tendendo a ampliar-se cada vez, é imperativo o preparo para a forte competição, que sem dúvida marcará essa nova ordem.

O setor florestal que até os dias atuais, vem contribuindo de forma muito modesta, ou seja menos de um por cento, para composição do produto interno bruto brasileiro, é indubitavelmente uma alternativa promissora, na aquisição de novos mercados, com o conseqüente aumento da atividade econômica.

A atividade florestal é, provavelmente a única que, com a utilização de métodos racionais de exploração, poderá associar o desenvolvimento, à conservação da qualidade de vida. Este desenvolvimento sustentado que o setor pode proporcionar, é baseado não somente na produção direta da madeira e produtos relacionados, mas indiretamente na produção de outros bens indispensáveis a manutenção da qualidade de vida e do equilíbrio ecológico. Tais bens produzidos indiretamente pelas florestas, podem ser exemplificados como a melhoria da qualidade do ar pela liberação de oxigênio, fixação e aprisionamento do dióxido de carbono produzido no dia a dia, como conseqüência inevitável de várias atividades envolvidas principalmente com o cotidiano das grandes cidades, a produção de água em abundância e qualidade, a manutenção da biodiversidade com a preservação de fauna e flora, diretamente associada às florestas, além do próprio lazer que o ambiente silvestre oferece de forma natural.

Somente a Amazônia, considerada a maior floresta tropical úmida do planeta, com seus 280 milhões de hectares, têm segundo REZENDE; NEVES (1988), reservas de madeiras estimadas em 50 bilhões de metros cúbicos, sendo 30% comercializáveis, de acordo com a forma praticamente irracional de exploração vigente na região. Tal irracionalidade, está assentada na falta de conhecimento das mais de 4000 espécies arbóreas produtoras de madeira. Portanto, aliada à ausência de conhecimentos técnicos das espécies e falta de uma política agressiva para o setor, a exploração amazônica ocorre de forma quase predatória, com apenas algumas dezenas de espécies respondendo pela atividade madeireira da região, com a tarefa de abastecer tanto o mercado nacional,

quanto para as exportações. Segundo PLUMPTRE (1990), a floresta Amazônica está sendo utilizada a uma taxa de aproximadamente 10 a 11 m³/ha, com a utilização de até 100 espécies. SIBSA (1989) apud autor citado anteriormente, estima que para a Floresta de Tapajós, próximo a Santarém, um volume desejável do ponto de vista silvicultural é de 40 a 50 m³/ha, a cada exploração. Ao nível de mercado internacional, o panorama ainda é mais drástico, pois meia dúzia de espécies representam mais de 50% das exportações de madeira na forma de tora ou serrada. Em artigo intitulado "The Timber Export Potential from the Brazilian Amazon", VANTAMME (1991), afirma que no ano de 1988, o mogno e a virola, representaram respectivamente 47 e 21% do volume de madeira exportada da região amazônica, perfazendo estas duas espécies dois terços do total das madeiras exportadas pelo Brasil, sendo o restante das exportações de madeira, provenientes de outras trinta espécies florestais.

Com todo este potencial madeireiro, a floresta amazônica deverá ser explorada de forma racional, que poderá produzir riqueza para a região, como fonte inesgotável de matéria-prima para a indústria da madeira. Como apenas um dos argumentos a favor do aproveitamento da floresta, pode-se citar MIROV (1967), o qual alerta para o fato de que como organismo vivo, a velhice também chega para as árvores. Cada espécie produtora de madeira possui um período de vida específico, que poderá ser de 50, 100, 500 anos, ou até mesmo milenares como no caso das sequóias gigantes americanas, com idade estimada em 4000 anos.

Quanto às florestas plantadas, devem ser destacadas as nossas características edafoclimáticas, associadas a altos índices solarimétricos e elevadas temperaturas, o que possibilita uma intensa atividade biológica, tendo como resultado altas taxas de produtividade. O quadro 1, segundo a ABCECEL (1986) apud MAGALHÃES (1988), evidencia a posição de destaque do Brasil, quando comparado a outros países, em relação a produtividade volumétrica de madeira por ha/ano.

Como ponto de reflexão do quadro 1, fica o paradoxo, ao considerar-se um país como Finlândia, com uma produtividade cinco vezes menor que a do Brasil, ou seja um período de rotação superior a 100 anos, tenha no setor florestal a base de sua economia. No Brasil esta rotação pode ser considerada como sendo de 20 anos.

A lei dos incentivos fiscais, segundo REZENDE; NEVES (1988), permitiu que parte do imposto de renda devido pelas empresas fosse aplicado em reflorestamento,

tendo reflexo quase imediato na área plantada do país, sobretudo com espécies exóticas, passando de 34.760 ha em 1967, para 4,7 milhões. Deste total 54% é de *Eucalyptus*, 30% de *Pinus* e 16% de outras espécies.

QUADRO 1 - PRODUTIVIDADE VOLUMÉTRICA DE MADEIRA EM DIFERENTES PAÍSES

PAÍS	PRODUTIVIDADE (m ³ /ha/ano)
Finlândia	5
Portugal	10
Estados Unidos	15
África do Sul	18
Brasil	25

FONTE: ABCECEL (1986)

Os primeiros reflorestamentos incentivados foram feitos com o objetivo de produzir matéria-prima para a indústria de papel e celulose, e a produção de energia via carvão vegetal, para a indústria siderúrgica. Atualmente, além dessas utilizações citadas, pode-se destacar o uso da madeira de eucalipto na produção de chapas de fibra, em menor escala no setor de eletrificação (postes e cruzetas), na construção (moirões de cercas, caibros, dormentes, entre outros) e na produção de embalagens. Entretanto, sabe-se que nos dias atuais, já existe uma nova inversão por parte de algumas grandes siderúrgicas, para a utilização do carvão mineral como agente termo-redutor na produção do ferro-gusa, em substituição ao carvão vegetal, decorrente principalmente por pressões de ambientalistas internacionais. Também no setor de celulose, é visível a necessidade do uso múltiplo da madeira de seus reflorestamentos. Daí, já existe a necessidade de uma reorientação do uso de tais florestas.

No que diz respeito a indústria da construção civil, a madeira já possui uma posição solidificada nas mais diversas fases do processo construtivo. Nos EUA, de acordo com MARCIN (1987), os produtos à base de madeira são dominantes para a construção de casas, e acima de 90% de novas casas, destinadas às famílias pequenas e pessoas solteiras, são construídas à base de madeira, como painéis compensados, chapas de partículas, entre outros. Ainda segundo o mesmo autor, nos próximos 50 anos, a madeira continuará dominando o mercado de construções habitacionais naquele país.

Destacando a importância da utilização da madeira como material de construção, pode-se citar McKEEVER; ANDERSON (1992), que fizeram um levantamento do volume de madeira utilizado apenas para construção de casas para pequenas famílias, nas diversas regiões americanas. Segundo esses autores, somente no ano de 1988, foram construídas naquele país, o total de um milhão e oitenta e cinco mil casas, com a utilização de aproximadamente $4,1 \times 10^7$ m³ de madeira serrada, $8,3 \times 10^8$ m² de painéis estruturais e $2,9 \times 10^8$ m² de painéis não estruturais. Por outro lado, no Brasil, em 1989, o consumo total de madeira, segundo dados da ABPM (Associação Brasileira dos Produtores de Madeira), citados pelo SEBRAE (1996), foi de aproximadamente $1,5 \times 10^7$ m³, ainda distribuídos em diversos setores de utilização da madeira. Se ficarmos restritos apenas a madeira consumida pela construção civil, nesse mesmo ano de 1989, essa mesma fonte apresenta um valor da ordem de $0,3 \times 10^7$ m³. Também relativo a habitação, o Japão, país de tradição milenar, possui hoje por volta de 74% de suas habitações construídas em madeira.

Quanto a utilização da madeira como material de construção, mesmo num país como os Estados Unidos, de grande tradição quanto a utilização, e produção deste material, LISKA (1971), destaca atenção limitada, que este recebe em programas de treinamento para arquitetos e engenheiros. Sem o conhecimento de atributos e características da madeira, esta não poderá ser utilizada de forma efetiva. Projetos de construção utilizando aço e concreto, não podem ser transferidos para a madeira, e o desconhecimento de suas propriedades, e principalmente a variabilidade destas, leva freqüentemente a erros. Portanto, somente aqueles arquitetos, engenheiros e construtores, preparados para trabalhar a madeira, por gostarem e entendê-la como material de construção, podem utilizá-la de forma eficiente e efetiva. Por ocasião do terceiro Encontro Internacional da Academia de Ciência da Madeira dos Estados Unidos, FLEISCHER (1971), afirmava que, na competição com outros materiais da indústria, não renováveis, e produzidos a um custo muito elevado para a sociedade, em termos de energia consumida e degradação ambiental, causados por sua recuperação e processamento, a madeira já estava pronta assumir um papel mais proeminente no futuro, desde que se procurasse melhorar à eficiência na exploração, processamento e uso dos produtos florestais. Quanto a utilização eficiente, ENGLERTH (1966), afirma ser a

seleção de madeira para usos específicos, freqüentemente adotada como operação prática, baseada mais na experiência, do que na informação científica. Entretanto, somente com o conhecimento do significado das características, e principalmente a sua variabilidade, é possível a elaboração de classes de utilizações confiáveis. Dentre os principais fatores que afetam às características da madeira, pode-se citar o sítio (que se relaciona com o ambiente onde crescem as árvores), operações silviculturais (desbaste, desrama, espaçamento, entre outras), melhoramento genético (características hereditárias), agentes biológicos, exploração, conversão e métodos adequados de processamento, entre outros.

Como material de construção, a madeira oferece muitas vantagens (e algumas desvantagens) para o usuário. KEENAN; ENG (1979), citam entre as vantagens o fato desta ser um dos poucos materiais renováveis, requerer energia de processamento muito menor que o aço, alumínio ou concreto, fornecer um isolamento térmico, por polegada de espessura, muito maior do que os metais ou o concreto, relação resistência e rigidez para peso, maior do que outros materiais, ser relativamente fácil para trabalhar, exigindo somente ferramentas simples, e em algumas circunstâncias apresentarem alta durabilidade natural. Principalmente em se tratando das madeiras originárias de espécies tropicais nativas, encontra-se uma expressiva quantidade destas, com elevada resistência ao ataque por organismos xilófagos. Por outro lado, existem algumas desvantagens críticas, para a utilização da madeira, que precisam ser levadas em consideração, como o fato da madeira ser combustível, um elevado número de espécies produzirem madeiras de baixa durabilidade natural, quanto ao ataque de organismos xilófagos, algumas espécies, principalmente àquelas provenientes de reflorestamento e rápido crescimento, apresentarem defeitos decorrentes da secagem mal conduzida. Tais desvantagens, não devem ser encaradas como obstáculo a utilização deste material, uma vez existirem soluções tanto a níveis projectuais, como àquelas relacionadas à sua própria tecnologia. Com respeito à durabilidade natural, GUITARD; MORLIER; THIBAUT (1991), ressaltam a maior facilidade para destruição final do material após utilização, com danos ao meio ambiente sendo praticamente desprezíveis, uma vez que a madeira possui o duplo privilégio de ser biodegradável e fonte de energia (em contraste a reciclagem ou destruição da maioria dos materiais ser consumidora de energia). Esses autores, ainda enfatizam a necessidade de estreita ligação entre a ciência e tecnologia da madeira com

as ciências e técnicas florestais, para que a madeira possa ocupar seu espaço e desempenhar papel industrial satisfatório como material de construção.

Ainda com relação a quantidade de energia consumida no processo de produção, o quadro 2, mostra a comparação entre diversos materiais de construção, incluindo a madeira, segundo ARON (1992). Os valores do quadro 2, não deixam a menor dúvida, em se tratando de conservação de energia, outra preocupação mundial, a madeira exige uma posição de consolidação como material de construção.

QUADRO 2 - PRODUÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO (Consumo comparativo de energia)

UMA TONELADA	Kg/CARVÃO*
Alumínio	4.200
Cal	1.800
Plástico	1.800
Aço	1.000
Vidro	700
Cimento	260
Tijolo cerâmico	140
Bloco silício-calcáreo	40
Bloco de concreto	25
Concreto simples	25
Madeira	0,8

FONTE: Laboratório Nacional de Engenharia Civil - 1976 - Lisboa - Portugal

(*) Kg . E.C. = Quilograma Equivalente de Carvão = 3.000 Kcal.

KOCH (1992), analisou o impacto da redução do corte de madeira das florestas da região de Washington, Oregon e Califórnia, nos Estados Unidos, com a conseqüente substituição de produtos estruturais de madeira, por materiais não renováveis como aço, alumínio, concreto, tijolos e plásticos. Nesta análise, o autor mostra um aumento significativo do consumo global de energia, com variação de 25 a 141 milhões de barris de óleo anualmente, e conseqüente adição de dióxido de carbono na atmosfera variando de 11 a 62 milhões de toneladas ao ano, dependente do grau de redução da exploração de madeira a ser adotado. Ainda afirmando tal impacto, o autor diz que o excedente em óleo necessário a tais medidas, poderia operar anualmente uma frota de 11 milhões de automóveis.

Quanto às florestas plantadas, no Brasil optou-se por dois gêneros, ou seja o *Pinus* e o *Eucalyptus*, como produtores de madeira, através do reflorestamento, procurando suprir as necessidades mais variadas de utilização. Quanto ao gênero *Pinus*, apesar de produzir madeira de fácil processamento e trabalhabilidade, ainda não se conseguiu uma espécie ou variedade que produza madeira com propriedades de resistência satisfatória. Tal ineficiência desta madeira, no que diz respeito ao comportamento mecânico, o qual por sua vez se relaciona diretamente ao baixo peso específico, se deve principalmente ao fato de tais espécies, na maioria das vezes, serem adaptadas às condições tropicais, e portanto terem elevadas taxas de crescimento, contrariando às condições de origem, hemisfério norte, em que com condições climáticas bem definidas, produzem anéis de crescimento mais estreitos e alta porcentagem de lenho tardio.

O gênero *Eucalyptus*, por sua vez, possui um enorme potencial, quanto ao suprimento de madeiras para os mais variados fins. Em franca expansão de utilização na construção civil, não fica nenhuma dúvida que a madeira produzida através de reflorestamento com espécies do gênero, se tornará em um futuro breve, dominante em todas as instâncias do setor madeireiro. Quanto a resistência mecânica, o gênero não apresenta nenhuma restrição, tendo produção de madeira com características mecânicas variando de baixa a muito elevada. Entretanto, com respeito às outras propriedades tecnológicas, o eucalipto ainda é um desafio, principalmente em se tratando da produção de madeira para utilização mais nobre, como a indústria moveleira e alguns setores da construção civil. Tal fato se deve em grande parte à finalidade das espécies introduzidas no Brasil, que representam a maior parte da área plantada. Entre as finalidades iniciais, estava o suprimento de matéria-prima para a indústria de papel, na qual somente algumas características anatômicas e químicas eram exigidas, e para a produção de carvão vegetal, onde a única propriedade importante, seria o peso específico aparente, que quanto maior, significa uma maior concentração de carbono no processo de carbonização. Para ampliar o leque de utilização da madeira de eucalipto, há necessidade portanto, da incorporação de novas espécies ao mercado, que sem nenhuma dúvida podem substituir àquelas espécies nativas, tradicionalmente utilizadas e sendo hoje raramente encontradas no comércio madeireiro.

No que diz respeito à qualidade da madeira produzida por espécies de reflorestamento, com elevadas taxas de crescimento, ZOBEL (1984), cita alguns fatores que podem promover mudanças neste conceito; como a necessidade de exploração de toras de pequenas dimensões, madeiras mais jovens e portanto de qualidade inferior, aproveitamento de material, antes considerado inútil, outros usos não convencionais da madeira, além de novas técnicas de manufatura da matéria-prima. Com relação a madeira de eucalipto, há necessidade de esforços cada vez maiores dos pesquisadores, no sentido de adequação de tecnologias de processamento às espécies já introduzidas, e também um criterioso estudo de seleção de espécies e melhoramento genético, visando a obtenção de material adequado às novas exigências para o gênero no mercado nacional e para atendimento ao mercado externo.

2. OBJETIVOS

Devido a necessidade de um estudo mais profundo das características da madeira e respectiva adequação nas mais variadas formas de sua utilização na construção civil, principalmente em relação às espécies lenhosas de reflorestamento, este trabalho tem os seguintes objetivos:

- Demonstrar cientificamente aos profissionais ligados à Engenharia Civil, a utilização da madeira de eucalipto como alternativa para o setor da construção civil.
- A nível de embasamento teórico-bibliográfico, apresentar e discutir aspectos relacionados aos principais grupos de plantas produtoras de madeira, bem como a composição química e sua relação com as principais propriedades da madeira.
- Também ao nível teórico-bibliográfico, dar ênfase a respeito do gênero *Eucalyptus*, bem como os aspectos importantes, envolvidos no processamento de sua madeira.
- Elaboração de um glossário, com as definições dos principais termos relacionados a madeira, e sua tecnologia, citados no texto.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Classificação das Árvores Produtoras de Madeiras

Existem basicamente dois grandes grupos vegetais produtores de madeiras, chamados de Gimnospermas e Angiospermas, respectivamente. O primeiro grupo predomina principalmente nas regiões de clima temperado, tendo como principal característica a homogeneidade de suas madeiras, decorrente do reduzido número de tipos de células constituintes do xilema secundário. Já o grupo das Angiospermas, que predomina nas grandes florestas tropicais, tem como característica marcante a elevada diversidade de espécies de árvores, as quais produzem madeiras dos mais variados tipos. É característica deste grupo, a formação de madeira com um maior número de tipos de células, resultando, numa maior complexidade da sua estrutura anatômica.

3.1.1. Gimnospermas

Esse grupo inclui uma grande parte das árvores mais úteis do mundo, especialmente nas florestas temperadas de ambos os hemisférios norte e sul. Segundo HARLOW; HARRAR (1958), historicamente, as gimnospermas têm recebido muita atenção devido sua linhagem antepassada, que estende desde o período do carbonífero no devoniano. Algumas destas madeiras foram contemporâneas daquela grande flora responsável pela extensiva camada de carvão do período carbonífero.

De acordo com Engler, as gimnospermas modernas estão divididas em 4 ordens, 12 famílias, e por volta de 63 gêneros e 675 espécies. Comercialmente, as coníferas, nome dado às árvores produtoras de madeira da ordem Coniferales, são as mais importantes.

Esta ordem compreende 7 famílias, 48 gêneros e cerca de 520 espécies. No hemisfério norte, são importantes as espécies das famílias: Pinaceae, Taxodiaceae e Cupressaceae. No sul, Podocarpaceae e Araucariaceae são as mais importantes. As outras duas famílias restantes são Taxaceae e Cephalotaxaceae.

As várias madeiras deste grupo são conhecidas como coníferas, pois os frutos em 4 famílias têm a forma de cone; sempre-verde, porque apresentam folhas de aparência

persistente, na maioria das vezes; e madeira macia (softwoods), por se distinguir daquelas do grupo das angiospermas ou madeiras duras (hardwoods). Entretanto, a denominação de madeira mole, para coníferas e madeira dura para as folhosas, não é totalmente verdadeira, por existirem folhosas macias, e coníferas duras.

A família Pinaceae é a mais importante entre as coníferas, que inclui 9 gêneros e cerca de 210 espécies, na maioria distribuídas no hemisfério norte. Os gêneros mais conhecidos são *Pinus*, *Larix*, *Picea*, *Pseudotsuga*, *Tsuga* e *Abies*.

Quanto ao gênero *Pinus*, é o maior e mais importante das coníferas, que inclui aproximadamente 90 espécies largamente espalhadas em todo o hemisfério norte, tendo como limites de crescimento a América do Norte, Europa e Ásia, além das florestas subtropicais na Índia, Burma, Sumatra, Filipinas, Honduras Britânicas, Índia Ocidental, Bahamas, Ilhas Canárias e Norte da África.

No Brasil, segundo RIZZINI (1981), os pinus introduzidos são oriundos do sul dos Estados Unidos, ou regiões tropicais centro-americanas. As espécies mais importantes são: *Pinus elliottii* (slash pine), *Pinus taeda* (lobloly pine), *Pinus palustris* (logleaf pine), *Pinus echinata* (shortleaf pine), *Pinus radiata* (monterey pine) e *Pinus caribaea* (short-needled caribbean slash pine). As espécies aqui introduzidas são o *Pinus elliottii*, *Pinus taeda*, *Pinus caribaea* e *Pinus oocarpa*.

Outra família de coníferas que está representada no Brasil, é a Podocarpaceae, que possui 7 gêneros e cerca de 100 espécies. Duas espécies nativas do Brasil são do gênero *Podocarpus*, ou seja *Podocarpus lambertii* e *Podocarpus sellowii*.

Outra família importante deste grupo de plantas produtoras de madeira é a Araucariaceae, que segundo RAMALHO (1973), é representada por grandes árvores, podendo alcançar até mais de 50 m de altura. Essa família possui 2 gêneros, que são *Araucaria* e *Agathis*, e cerca de 32 espécies do hemisfério sul. O Brasil está representado na família pela *Araucaria angustifolia*, árvore nativa da região sul. Chamada comumente de pinheiro do paraná ou pinheiro brasileiro, esta espécie foi a responsável pelo abastecimento de madeira durante muitos anos, principalmente para os estados da região sudeste. Até por volta de 20 anos atrás as matas de araucária, localizadas nos três estados da região sul, suportavam toda a indústria madeireira da região. Entretanto, nos dias atuais tais florestas foram praticamente dizimadas, restando apenas povoamentos isolados de propriedade particular. A sua madeira, é uma das mais

versáteis existentes, devido sua ótima qualidade, sendo usada na carpintaria, tanoaria, marcenaria, caixotaria, tabuados, ripados, compensados, palitos, instrumentos musicais, entre outros.

Diferentemente das coníferas aqui introduzidas, que deixam muito a desejar quanto às qualidades de suas madeiras, principalmente para a construção civil, é amplamente recomendável o desenvolvimento de programas de reflorestamento, principalmente para a região sul, para que se possa recuperar a notável matéria-prima fornecida pelas florestas de araucária.

3.1.2. Angiospermas

Este grupo, segundo BARROSO (1978), está dividido em duas classes chamadas de Monocotiledôneas, representadas pelos bambus e palmeiras, e Dicotiledôneas. Estas, são as principais produtoras de madeira. A seguir serão apresentadas, como base em BARROSO (1978); RIZZINI (1981), as principais famílias, com alguns gêneros e espécies mais importantes, sob o aspecto da produção de madeira para a construção civil

Anacardiaceae - é uma família de arbustos e árvores, com aproximadamente 65 gêneros e 500 espécies em todo mundo. Na América Latina, existem cerca de 125 espécies distribuídas em 25 gêneros. O gênero *Myracroduon*, é um dos mais importantes, quanto a produção de madeira, destacando-se a espécie de *Myracroduon urundeuva*, chamado comumente de aroeira do sertão, que produz uma das madeiras de maior durabilidade natural, além de sua altíssima densidade, apresentando uma das mais elevadas resistências mecânicas.

Apocynaceae - tem no gênero *Aspidosperma*, as principais espécies produtoras de madeira, que pode chegar a 130, com 80 no Brasil. A principal espécie é a *Aspidosperma polyneuron*, comumente chamada de peroba rosa ou peroba amargosa. A madeira desta espécie é pesada e dura, sendo durável, exceto em contato com o solo.

Bignoniaceae - dois gêneros são importantes produtores de madeira, *Paratecoma* e *Tabebuia*. O primeiro é representado pela espécie *Paratecoma peroba*, madeira de excelente qualidade, muito usada na construção civil em geral. Entretanto, atualmente essa espécie, comumente chamada de peroba de campos, está praticamente

em extinção. O gênero *Tabebuia*, é representado pelos ipês, madeira pesada, de elevada durabilidade natural, amplamente empregada na construção civil.

Leguminosae - por ser uma família muito grande, é dividida em 3 sub-famílias, estando aí incluídas as melhores madeiras do grupo das angiospermas.

Leguminosae - Caesalpinacea - no mundo existem cerca de 4500 espécies, sendo em nossa região aproximadamente 500. Os gêneros mais importantes, são *Aldina*, *Apuleia*, *Bauhinia*, *Brownea*, *Caesalpinia*, *Campsiandra*, *Cassia*, *Copaifera*, *Delonix*, *Dialium*, *Dimorphandra*, *Eperua*, *Goniorrhachis*, *Holocaly*, *Hymenaea*, *Lecointea*, *Macrolobium*, *Melanoxylon*, *Mora*, *Peltogyne*, *Peltophorum*, *Ptogyne*, *Schizolobium*, *Sclerolobium*, *Swartzia*, *Vouacapoua* e *Zollernia*. Na construção civil, o jatobá, nome comum da madeira produzida por árvores do gênero *Hymenaea*, é bastante utilizada, principalmente para fins estruturais, destacando estruturas de telhados.

Leguminosae - Mimosaceae - nas américas, existem aproximadamente 1000 espécies de árvores e arbustos. Os gêneros mais importantes são *Acacia*, *Cedrelinga*, *Dinizia*, *Enterolobium*, *Inga*, *Mimosa*, *Parkia*, *Piptadenia*, *Pithecolobium*, *Platymenia* e *Prosopis*. Para a construção civil, destacam-se os angicos, pertencentes ao gênero *Piptadenia*, vinhático pertencente ao *Platymenia* e angelim pedra ao *Dinizia*.

Leguminosae - Papilionacea - existem cerca de 6500 espécies em todo mundo, distribuídas em 300 gêneros. No Brasil existem cerca de 650 espécies arbóreas, em 60 gêneros. Os gêneros mais importantes são *Andira*, *Bowdichia*, *Centrolobium*, *Clitoria*, *Diptery*, *Dalbergia*, *Diplotropis*, *Erythrina*, *Hymenolobium*, *Machaerium*, *Myrocarpus*, *Myroxylon*, *Pterocarpus*, *Pterodon*, *Sweetia*, *Tipuana* e *Torresea*.

Os mais nobres representantes da subfamília, são os jacarandás, pertencentes ao gênero *Dalbergia*, e as sucupiras, representadas em *Diplotropis* e *Machaerium*.

Meliaceae - família muito importante na produção de madeiras de excelentes qualidades, destacando os gêneros *Cabralea*, *Carapa*, *Cedrela*, *Guarea*, *Swietenia* e *Trichilia*. Duas espécies destacam-se como madeiras nobres para a construção civil, entre outras utilizações. Tais espécies são o cedro, pertencente ao gênero *Cedrela*, e o mogno, pertencente ao *Swietenia*. O mogno é uma das melhores madeiras do mundo, tendo como principal característica sua elevada estabilidade dimensional.

Moraceae - possui cerca de 1550 espécies, em sua quase totalidade tropicais, distribuídas em 75 gêneros. Destaca-se por produzir, na maioria das vezes, madeiras

duras, pesadas e de elevada durabilidade natural. Os gêneros nativos mais comuns são *Bagassa*, *Brosimum*, *Cecropia*, *Chlorophora*, *Clarisia*, *Coussapoa*, *Ficus* e *Perebea*. Destacam-se as espécies *Bagassa guianensis* (tatajuba), *Brosimum parinarioides* (amapá), *Chlorophora tinctoria* (tajuba) e *Clarisia racemosa* (oiticica), todas utilizadas na construção civil.

Myristicaceae - o gênero *Virola*, com 38 espécies que vão desde a Guatemala até o sul do Brasil, com predominância na amazônia, produz madeira de ótima qualidade. Suas madeiras possuem densidade média, boa durabilidade natural, além de ser de boa trabalhabilidade, sendo bastante empregada na construção civil.

Myrtaceae - é uma grande família, com aproximadamente 70 gêneros e 3000 espécies. Nas regiões tropicais latino-americanas, aproximadamente 20 gêneros e 1200 espécies de arbustos e árvores de tamanho pequeno a médio.

Sem dúvida, o gênero mais importante da família, é o *Eucalyptus*, que é caracterizado por grandes árvores que pode chegar a mais de 100 m de altura.

Como se pode ver o grupo das angiospermas, possui uma diversidade muito grande de espécies produtoras de madeiras, o que torna até difícil a tarefa de exploração de tais florestas. Devido a este elevado número de espécies por área, torna-se imperativo a utilização de um sistema mais amplo de classificação, baseado em características comuns a um grande número destas. Características como a cor da madeira, associada ao peso específico aparente, poderá ser uma das alternativas de classificação, visando uma exploração mais racional deste recurso.

3.2. Composição Química da Madeira

O conhecimento da natureza química da madeira é de importância, pois se relaciona às propriedades, que conseqüentemente influirão na sua adequabilidade para as diferentes formas de utilização. Portanto, somente através do conhecimento de sua composição, bem como das características de seus constituintes, podemos entender o seu comportamento como material, com posterior otimização do seu uso.

A parede celular das fibras de madeira, consiste de três componentes principais, de origem polimérica: celulose, hemiceluloses e a lignina. SEABRIGHT (1995), afirma que geralmente as árvores de clima temperado, possuem altas proporções de celulose, hemiceluloses e lignina, que pode chegar a 98% da composição química total. Por outro lado, segundo o mesmo autor, as árvores tropicais podem ter proporções mais baixas desses três elementos, reduzidos a aproximadamente 90%, tendo conseqüentemente uma maior quantidade de substâncias orgânicas e inorgânicas.

Na divisão celular, as primeiras membranas formadas são a lamela média e a parede primária, ambas ricas em materiais pécticos. Durante a fase seguinte, ocorre o espessamento da parede pela deposição de celulose e hemiceluloses que compõem a parede secundária. A fase que se segue é a deposição da lignina, ou lignificação, que se inicia nos cantos das células e se espalha pela lamela média composta e pela parede secundária. Quando a lignificação se completa, a célula morre, e o protoplasma residual forma uma camada verrugosa sobre a camada mais interna da parede celular (S3).

A lignina na lamela média, serve para cimentar as fibras umas às outras. Sua função na árvore é dar rigidez ao caule, para que este cresça verticalmente, e dar durabilidade à madeira.

Segundo FOELKEL (1977), a composição elementar da madeira seca, é surpreendentemente constante, e aproximadamente:

- 50% carbono;
- 44% oxigênio;
- 6% hidrogênio;
- 0,1% nitrogênio; e
- 0,3% cinzas (material inorgânico).

Estes elementos se combinam para formar compostos químicos bem definidos, sendo o mais importante a celulose. Em base seca, a quantidade relativa desses compostos são:

- celulose: 40-45%;
- hemiceluloses: 20-30%;
- lignina: 18-25% em folhosas;
25-35% em coníferas; e
- extrativos: 2-25%.

Estes constituintes químicos podem ser agrupados em três tipos principais:

A - Substâncias que formam o esqueleto da madeira, rígidas, que se constituem em longas cadeias de polissacarídeos - celulose.

B - Substâncias que formam uma matriz envolvendo o esqueleto da fibra - hemiceluloses e pectina.

C - Substâncias incrustantes, que preenchem os espaços vazios na parede celular - lignina e suberina.

D - Substâncias adicionais. São os chamados extrativos, nome genérico dado a um grande número de compostos, solúveis em água e solventes orgânicos. Tais componentes secundários, podem localizar nos lúmens, paredes celulares e células parenquimatosas da madeira.

3.2.1. Celulose

Definida segundo FOELKEL (1977), como um polissacarídeo linear, de comprimento de cadeia suficiente para ser insolúvel em água e álcali diluído à temperatura ambiente, é composto somente de unidades de anidro-glucose, unidas por ligações glucosídicas β -1-4, possuindo uma estrutura bem organizada. De acordo com EATON; HALE (1993), o número de unidades de glucose, por molécula de celulose, ou seja o grau de polimerização, varia entre 8.000-10.000 na madeira. Tal estrutura é mostrada na figura 1.

FOELKEL (1977), afirma que à exceção provavelmente do composto orgânico β (1-3) glucan, que ocorre nas algas marinhas, a celulose é o mais abundante composto químico do planeta. A celulose sempre se encontra na forma de microfibrilas. Devido a

abundância dos grupos hidroxílicos ao longo da cadeia de celulose, estes tem a tendência para formar pontes de hidrogênio intra e inter-moleculares com as cadeias de celuloses adjacentes. As ligações intra-moleculares, formam entre os grupos OH de monômeros de glucose, e as ligações inter-moleculares formam entre grupos OH de cadeias de celuloses adjacentes. Nas fibras do algodão encontra-se a mais pura celulose (99,8% de pureza), mas na madeira, esta se encontra acompanhada da lignina e das hemiceluloses.

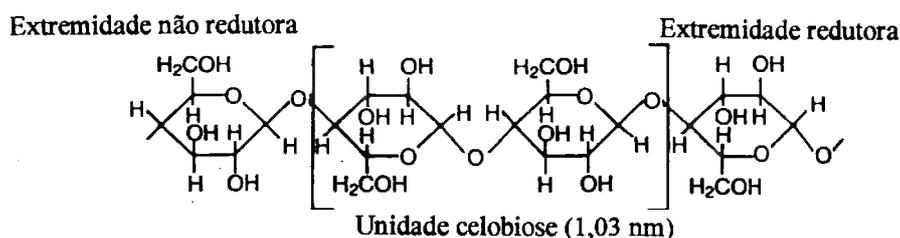


Figura 1 Estrutura química de parte de uma molécula de celulose mostrando as unidades anidroglicopiranoses ligadas por ligações glucosídicas β 1-O-4. (celobiose sendo a unidade repetitiva ao longo da cadeia). Fonte: EATON; HALE (1993).

Como o principal componente estrutural da madeira, tal polímero de cadeia longa e não ramificada, é empacotado em regiões cristalinas, em grande parte do seu comprimento. O arranjo altamente ordenado das cadeias moleculares pode ser demonstrado, segundo EATON; HALE (1993), através da difração de raio-X e microscopia de luz polarizada. Esta formação microfibrilar cristalina da celulose, é consequência de pontes de hidrogênio existentes entre as cadeias de celulose adjacentes, ilustradas na figura 2.

Estas forças laterais, mantém os cristalitos juntos internamente, sendo responsáveis por diversas características estruturais importantes da cadeia de celulose. Segundo MARK (1967), um perfeito cristalito de celulose é impermeável a água; solventes aquosos podem ser adsorvidos somente nas superfícies externas, entre as microfibrilas, ou sobre às hemiceluloses associadas, caso a proteção de lignina seja removida. Outra característica importante, é que grandes deformações plásticas, raramente ocorrem, pois as forças inter-moleculares de atração, dificultam movimento relativo extenso.

A densidade ou peso específico da celulose, segundo MARK (1967), no estado perfeitamente ordenado, é calculado em 1,590 a 1,630, com a porção amorfa

apresentando um valor variando de 1,482 a 1,489. Variável, segundo outros autores, a densidade da celulose na parede celular das células da madeira, é dependente da maior ou menor perfeição do arranjo cristalino nas microfibrilas.

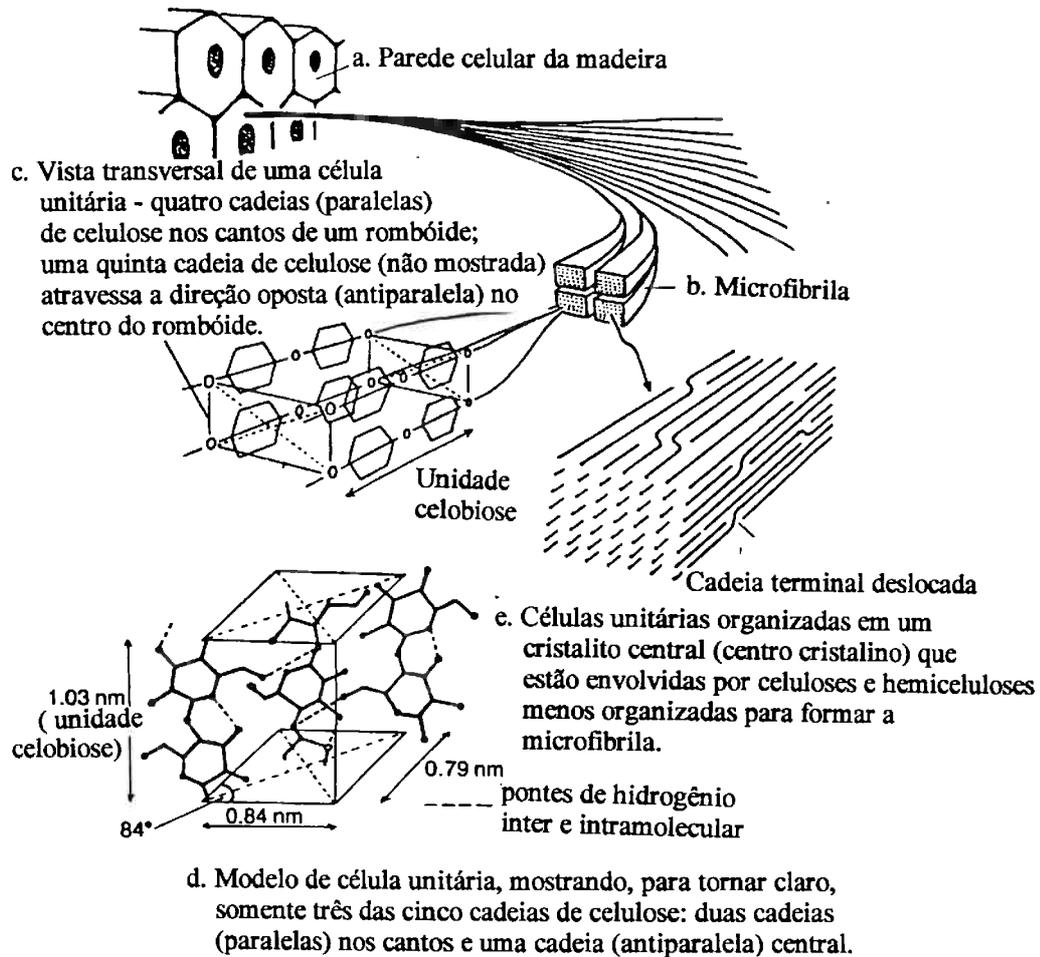


Figura 2 Representação diagramática da parede celular (a), mostrando as cadeias de celulose altamente ordenadas em microfibrilas (b). Cadeias de celulose são agregadas em células unitárias dentro das microfibrilas na parede celular (c). A estrutura tridimensional da célula unitária nas microfibrilas (d), contribui para a natureza cristalina da parede celular. A parte central cristalina da microfibrila (e) é envolvida por celulose paracristalina, e hemicelulosos não cristalinos, representando uma transição gradual de um arranjo ordenado no centro para um arranjo menos ordenado do polissacarídeo na parte externa da microfibrila. Fonte: EATON; HALE (1993).

No que se refere ao peso molecular da celulose, MARK (1967), afirma que a extensão da cristalinidade da parede celular, ou o limite, em qualquer agregado sólido de moléculas, e seu comprimento da cadeia não são determináveis no estado natural. A determinação do peso molecular da celulose, depende da remoção química da parede

celular, colocando-a em solução. Por mais cuidado que se faça esta operação, a cadeia poderá ser degradada, em particular o seu comprimento poderá ser encurtado, por quebra das pontes de hidrogênio.

FOELKEL (1977), mostra que como o peso molecular de cada unidade de anidro-glicose é 162, o peso molecular da celulose mantém a seguinte relação com o grau de polimerização:

$$PM = 162 \times DP \quad (1)$$

PM = Peso molecular;

DP = Grau de polimerização médio.

MARK (1967), citando Gormy e Tunell, afirma que toda a celulose da madeira de angiospermas e gimnospermas, tem um grau de polimerização de 9.000 a 10.000, sugerindo que este esteja próximo de 15.000, o que corresponde a um peso molecular de 2,5 milhões.

3.2.2. Hemiceluloses

O termo hemiceluloses refere-se aos polímeros de polissacarídeos de baixo peso molecular, que estão fortemente associados à celulose nos tecidos da madeira.

Segundo EATON; HALE (1993), mais recentemente, o termo polioses, tem sido utilizado para descrever estes polissacarídeos não celulósicos. Segundo FOELKEL (1977), as hemiceluloses são constituídas de outros monossacarídeos, além da glicose, sendo os mais comuns mostrados na figura 3.

As hemiceluloses possuem peso molecular bem inferior ao da celulose (10.000 a 25.000), uma vez que raramente possuem mais de 150 a 250 unidades de monossacarídeos na cadeia central. São portanto macromoléculas bem pequenas em relação à celulose.

D'ALMEIDA (1981), afirma que as hemiceluloses são polímeros nos quais participam pelo menos dois tipos de unidades de açúcar. Assim, as hemiceluloses isoladas das madeiras, são misturas complexas de polissacarídeos, sendo os mais importantes: glucuronoxilanas, arabinoglucuronoxilanas, glucomananas, arabinogalactanas e galactoglucomananas.

Deve-se se lembrar que o termo hemicelulose não designa um composto químico definido, mas sim uma classe de componentes poliméricos presentes em vegetais fibrosos, possuindo cada componente propriedades peculiares. Ainda, como no caso da celulose e da lignina, o teor e a proporção dos diferentes componentes encontrados nas hemiceluloses da madeira variam grandemente, com a espécie, e também provavelmente, de árvore para árvore.

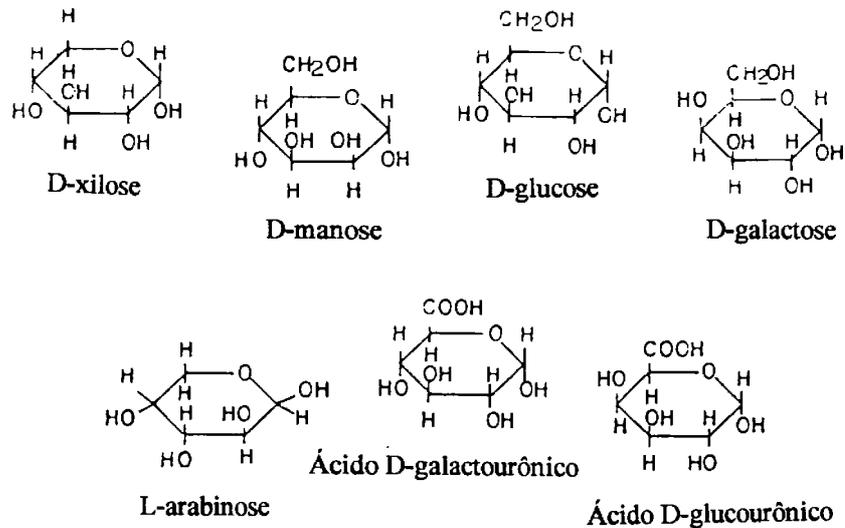


Figura 3 Açúcares que compõem as hemiceluloses. Fonte: D'ALMEIDA (1981).

O quadro 3, mostra a quantidade relativa das hemiceluloses, nos dois principais grupos de plantas produtoras de madeira, segundo D'ALMEIDA (1981).

QUADRO 3 - QUANTIDADE RELATIVA DAS HEMICELULOSES EM FOLHOSAS E CONÍFERAS

Hemiceluloses	Folhosas	Coníferas
Glucuronoxilana	Muito grande	Pequena
Arabinoglucuronoxilana	Traços	Pequena a média
Glucomanana	Pequena	Grande
Galactoglucomanana	Muito pequena	Pequena a média
Arabinogalactana	Pequena	Muito pequena
Outras galactanas	Traços a pequena	Traços a pequena

FONTE: D'ALMEIDA (1981)

As estruturas de parte de uma hemicelulose da madeira de folhosas e coníferas são ilustradas nas figuras 4 e 5, respectivamente.

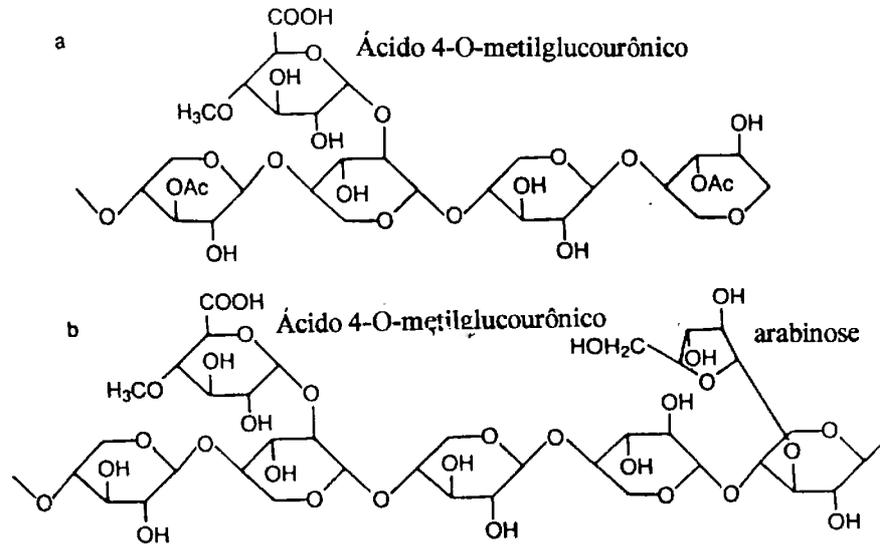


Figura 4 (a) Parte de um polímero hemicelulose de folhosa O-acetil-4-O-metilglucuronoxilana composto de unidades repetitivas de xilose com a ramificação lateral de grupos O-acetil e ácido 4-O-metilglucurônico. (b) Parte de uma molécula de xilana de conífera com cadeias laterais de ácido 4-O-metilglucurônico e arabinose. Fonte: EATON; HALE (1993).

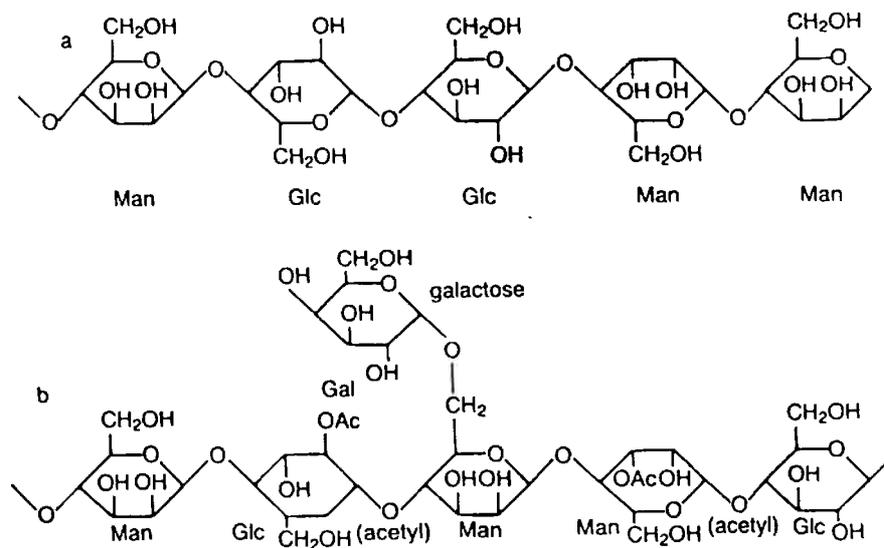


Figura 5 (a) Parte de uma molécula de glucomanana de folhosa. (b) Parte de uma molécula de glucomanana de conífera (O-acetil-galactoglucomanana) mostrando a substituição por grupos laterais de unidades O-acetil e galactose. Fonte: EATON; HALE (1993).

Segundo FOELKEL (1977), as hemiceluloses são polímeros geralmente amorfos, constituídos de uma cadeia central de unidades repetitivas, mais as cadeias laterais. Conforme a natureza das unidades repetitivas do(s) monossacarídeo(s) das cadeias central e lateral, denomina-se a hemicelulose. Segundo MARK (1967), o seu peso específico possui valor aproximado de 1,50.

Além de atuar como uma matriz, na parede celular da madeira, onde estão imersas as cadeias de celulose, tais polissacarídeos possuem características hidrofílicas, sendo o mais higroscópico dos componentes primários da parede celular. MOREY (1980), afirma que em condições ambientais semelhantes, a madeira de uma angiosperma normalmente contém mais umidade do que a de uma conífera, o que pode ser explicado pelo maior teor de hemiceluloses nas folhosas.

A proporção dos diferentes açúcares que formam as hemiceluloses, podem também variar dentro de um mesmo tipo de polissacarídeo, dependendo se este encontra no grupo das gimnospermas ou nas dicotiledôneas ou folhosas. Essa afirmação anterior é confirmada por BABA et al. (1994), que afirmam por exemplo que a glucomanana, uma hemicelulose encontrada em abundância nas coníferas, é composta da relação de 2 a 6 resíduos de manose por um resíduo de glicose, nas folhosas esse mesmo polissacarídeo é composto da relação de somente 2 resíduos de manose por um de glicose. Esses mesmos autores, utilizando uma técnica de microscopia eletrônica de imuno-ouro, afirmam ser possível a determinação de substâncias específicas, não somente a nível molecular, mas também ao nível submolecular, quando a especificidade do anticorpo utilizado é clara. Para madeira de pinus, foi detectada a presença da glucomanana, somente na parede secundária das células, estando ausentes na parede primária.

3.2.3. Lignina

O terceiro maior componente da parede celular da madeira é a lignina. EATON; HALE (1993), definem esta como um polímero tridimensional complexo, de unidades de fenil-propano, completamente amorfo, servindo como material incrustante em torno das microfibrilas. A lignina confere considerável rigidez a parede celular, e devido às suas propriedades, menos hidrofílicas, também influencia as características de inchamento da madeira.

A nível micromorfológico, acredita-se que a sua síntese, e o processo de lignificação da parede celular é iniciado quando encerra a fase de alargamento da parede primária. Este processo, inicia nos cantos da célula, antes da formação da parede secundária, continuando com a lignificação da lamela média e da parede primária. Com a formação da parede secundária, o seu acúmulo segue de forma gradual, para as camadas S1, S2, e eventualmente até a região da camada S3.

Ainda de acordo com EATON; HALE (1993), com respeito a complexidade das moléculas da lignina, e os caminhos biossintéticos que levam a sua formação, indicam a existência de três tipos de unidades de fenilpropano, a partir das quais são formadas todas as ligninas, representadas pelos álcoois p-coumaryl, coniferil e sinapílico, que estão ilustrados na figura 6.

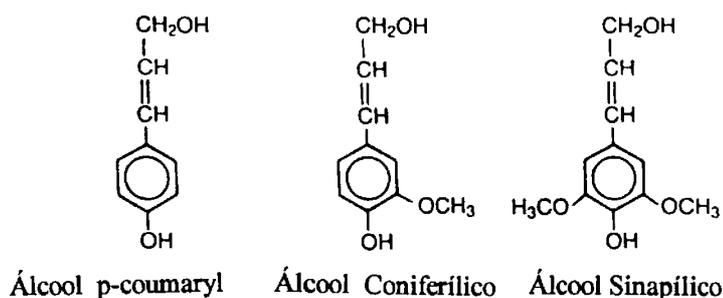


Figura 6 Monomeros de fenilpropano a partir dos quais a lignina é composta. Fonte: EATON; HALE (1993).

Como pode ser observado na figura anterior, a maior diferença na estrutura química destes monômeros é a presença ou não de grupos metoxílico (-OCH₃), nas posições 3 e 5 do anel aromático. A polimerização subsequente das unidades de fenilpropano em lignina, inicia-se com a formação de dímeros. Alguns exemplos de ligação entre as unidades monoméricas são mostrados na figura 7.

Diversos modelos tem sido propostos para explicar a estrutura da lignina de folhosas e coníferas. Dois exemplos podem ser vistos nas figuras 8 e 9, para a estrutura das ligninas das folhosas e coníferas respectivamente. A partir de vários estudos sobre sua biossíntese e estrutura, aceita-se que a lignina de conífera é formada principalmente pela polimerização desidrogenativa do álcool coniferílico, e que a de folhosa é derivada da polimerização desidrogenativa de uma mistura de álcoois coniferílico e sinapílico.

As figuras 8 e 9 mostram a estrutura altamente ramificada e de elevado peso molecular deste polímero.

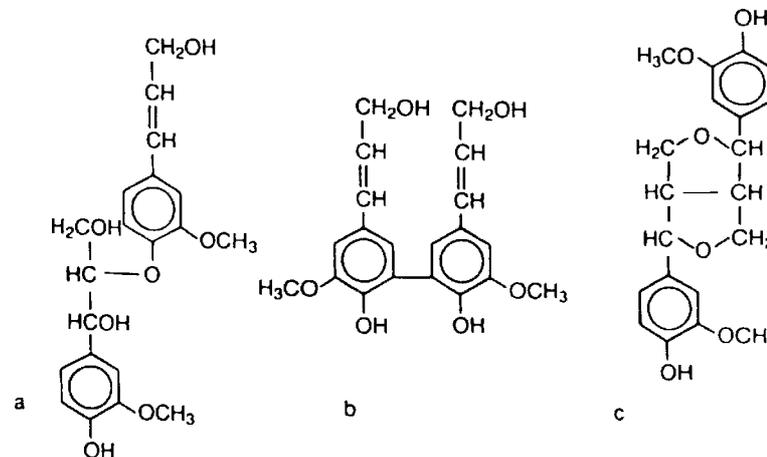


Figura 7 Alguns exemplos de ligações mais comuns entre dímeros de lignina. (a) éter guaiacylglycerol-β-coniferyl, (b) álcool desidro bis-coniferyl, (c) D,L-pinoresinol. Fonte: EATON; HALE (1993).

PETTERSEN (1984), afirma que pelo fato deste polímero estar espalhado tanto nas paredes celulares, como nas regiões intercelulares, ou lamela média, este confere a madeira uma boa dureza, tornando-a um material rígido, capaz de resistir a tensões mecânicas consideráveis. A região da lamela média, é composta de aproximadamente 70-80% de lignina, por peso, atuando como material cimentante, que ajuda a unir todas as células da madeira. Embora a região da lamela média, tenha um teor muito alto em lignina, devido a parede celular ser também lignificada, e ocupar o maior volume sólido da madeira, por volta de 70% ou mais da lignina total da madeira, está localizada nestas paredes celulares.

Quanto ao peso específico da lignina, MARK (1967), cita que alguns valores extremos variando de 1,255 a 1,620, tendo sido proposto um valor médio de 1,40.

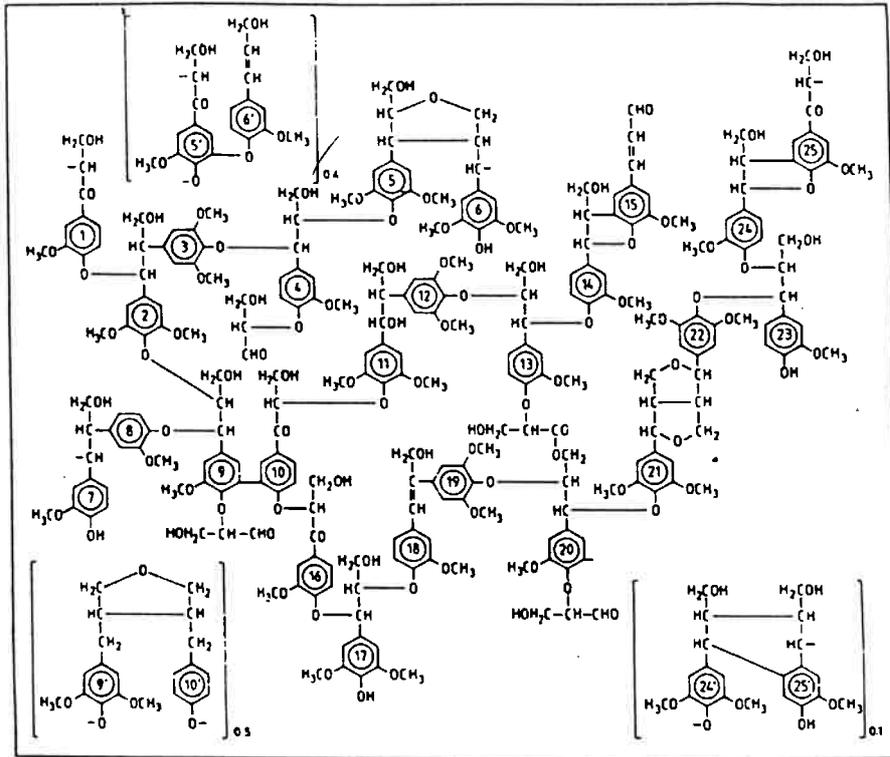


Figura 8 Um modelo para lignina de folhosa. Fonte: EATON; HALE (1993).

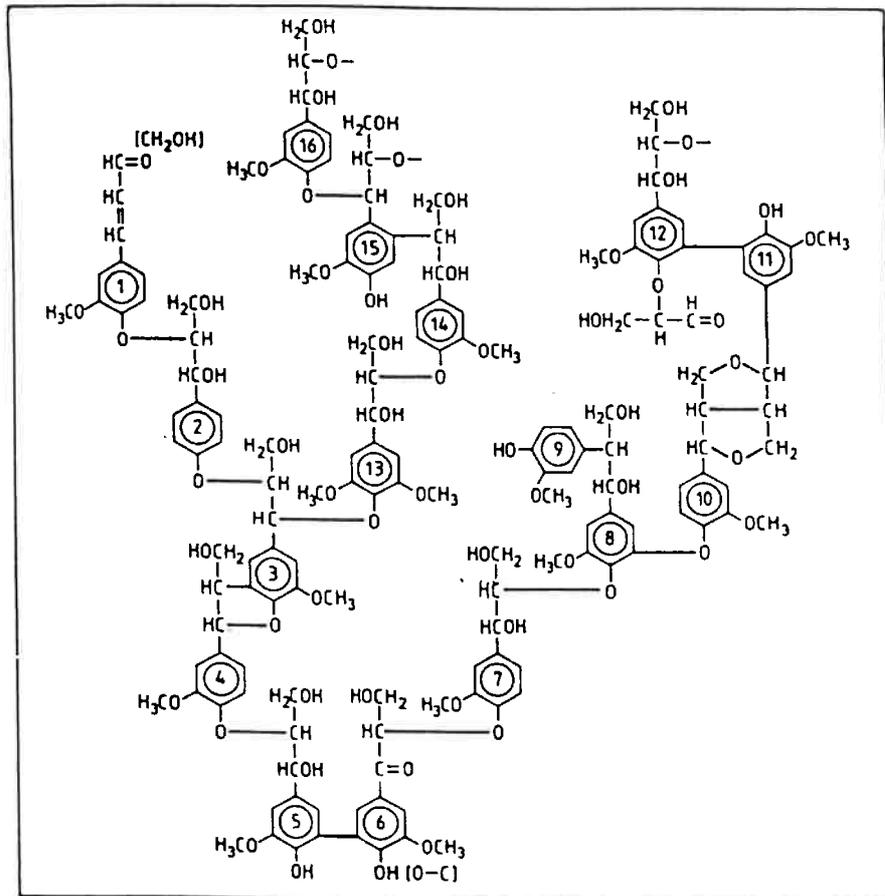


Figura 9 Um modelo para lignina de conifera. Fonte: EATON; HALE (1993).

3.2.4. Constituintes Secundários - extrativos

Existe uma certa fração dos constituintes da madeira que pode ser extraída por água, solventes orgânicos ou ainda por volatilização.

Segundo FOELKEL (1977), dentre os extrativos mais importantes estão os terpenos e os ácidos resinosos, ambos constituídos de unidades de isopreno; os polifenóis, como flavonóis, antocianinas, quinonas, lignanas e taninos; tropolônios; glucosídeos, açúcares, ácidos graxos e minerais. A maior parte destes extrativos se localiza no cerne.

Segundo BUCHMAN (1975), existe uma considerável variação na distribuição de extrativos, através da madeira de uma dada árvore. Os açúcares e outros constituintes solúveis da seiva, e depósitos de alimentos de reserva, tais como amido e gorduras, são encontrados no alburno. As substâncias fenólicas, são normalmente depositadas no cerne. Existe uma variação na quantidade de material depositado ao longo do comprimento da árvore e no sentido radial do tronco.

O autor citado anteriormente também enfatiza a variação dos extrativos na estrutura celular da madeira. As gorduras são encontradas nas células parenquimatosas, especialmente no parênquima do raio, onde os ácidos resinosos são secretados por células epiteliais, e tendem a preencher os ductos resiníferos. Algumas substâncias são depositadas nos poros de certas folhosas. Constituintes solúveis da seiva estão presentes no alburno da árvore viva, e são depositados dentro dos capilares da madeira, e nas superfícies quando esta é seca.

KRAMER; KOZLOWSKI (1979), dizem que durante a formação do cerne, uma ampla variedade de substâncias extrativas, incluindo taninos, diversas substâncias corantes, óleos, gomas, resinas, e sais de ácidos orgânicos, são acumulados nos lúmens das células, e paredes celulares, resultando na cor escura da madeira. Algumas destas substâncias, também ocorrem no alburno, mas normalmente em menores quantidades. Extrativos no cerne, algumas vezes excedem a 30% do peso total da madeira, e aumentam a coloração, densidade e a durabilidade da madeira. Um dos mais importantes extrativos do cerne são os polifenóis, que são compostos aromáticos com um ou mais grupos de hidroxilas fenólicas.

De acordo com OLIVEIRA; DELLA LÚCIA (1994), os solventes empregados mais freqüentemente para extração da madeira são água fria, que extrai substâncias como gomas, taninos, açúcares e corantes; água quente, que além dos anteriores, extrai também os amidos; a mistura etanol/tolueno na proporção 1:2, que solubiliza ceras, gorduras, resinas, óleos, além de outros componentes; os éteres, como o diclorometano, que também mede o teor de graxas, resinas e óleos; e o metanol. Há sempre o interesse na determinação da solubilidade total da madeira. Neste caso, costuma-se empregar uma seqüência de extração, que poderá iniciar com a mistura etanol/tolueno, seguida por etanol somente e, finalizada por água quente. Os valores encontrados por OLIVEIRA; DELLA LÚCIA (1994), para 27 espécies de madeiras nativas ou aqui introduzidas, são descritos no quadro 4.

QUADRO 4 - SOLUBILIDADE DE 27 ESPÉCIES DE MADEIRAS

Espécies	Solubilidade* (%) em					
	H2OF	H2OQ	Et/T	MET	DICL	TOT
<i>Acacia mangium</i>	4,6	6,9	6,2	7,6	2,5	9,0
<i>Amburana cearensis</i> (cerejeira)	10,8	17,4	17,8	20,6	9,1	26,8
<i>Araucaria angustifolia</i>	2,0	3,4	1,1	2,8	0,9	4,1
<i>Araucaria cunninghamii</i>	1,9	3,0	0,4	2,0	0,6	3,1
<i>Caesalpinia leiostachya</i> (pau ferro)	6,6	9,8	11,4	11,9	4,3	15,0
<i>Cedrela fissilis</i> (cedro)	2,4	3,6	3,0	4,6	1,8	5,6
<i>Dinizia excelsa</i> (angelim-pedra)	3,4	6,1	4,3	6,4	0,7	9,3
<i>Eucalyptus citriodora</i>	8,0	11,3	12,1	13,9	2,9	16,0
<i>Eucalyptus grandis</i>	2,4	3,2	1,3	2,7	0,6	3,6
<i>Eucalyptus gummifera</i>	3,1	5,1	4,0	5,3	1,1	6,9
<i>Eucalyptus paniculata</i>	11,5	14,6	12,1	16,4	1,4	18,3
<i>Eucalyptus resinifera</i>	7,2	10,4	9,1	13,6	0,7	14,7
<i>Eucalyptus saligna</i>	3,3	6,3	5,6	7,7	0,6	10,0
<i>Gmelina arborea</i>	4,8	5,9	4,6	7,1	3,1	8,1
<i>Hymenaea courbaril</i> (jatobá)	10,1	15,2	17,0	19,4	2,2	21,5
<i>Ligustrum japonicum</i> (alfeneiro)	4,4	6,2	1,6	2,8	1,1	6,1
<i>Machaerium scleroxylon</i> (caviuna)	4,2	8,9	15,4	16,3	11,6	17,6
<i>Manilkara longifolia</i> (paraju)	5,0	8,3	10,6	10,2	2,3	11,8
<i>Melia azedarach</i> (cinamomo)	2,6	3,7	1,8	2,7	0,8	4,2
<i>Miconia candolleana</i> (quaresminha)	7,6	10,8	1,4	5,0	1,3	10,8
<i>Ocotea porosa</i> (imbuia)	6,8	11,7	7,6	15,4	2,6	20,2
<i>Pinus caribaea</i>	4,3	7,0	2,9	5,1	1,8	7,7
<i>Pinus oocarpa</i> "sem resina"	3,0	4,5	2,5	3,6	1,7	5,6
<i>Pinus oocarpa</i> "com resina"	3,8	9,0	21,2	22,4	20,5	25,0
<i>Planchonella pachycarpa</i> (goiabão)	2,5	3,1	1,0	1,6	0,8	3,2
<i>Prunus sp</i> (pessegueiro)	6,4	9,9	10,4	12,0	2,0	14,4
<i>Vanillosmopsis erythropappa</i>	3,2	5,8	8,5	9,4	5,1	10,9
<i>Xylopia sericea</i> (pindaíba)	2,4	3,5	1,0	3,1	0,8	4,0

FONTE: OLIVEIRA; DELLA LÚCIA (1994)

* Respectivamente, em água fria, em água quente, em etanol/tolueno, em metanol, em diclorometano e totalmente livre de extrativos.

Na maioria das vezes o teor de extrativos nas madeiras tropicais é bem superior aqueles encontrados para as espécies crescendo em clima temperado.

Substâncias inorgânicas tais como sílica, também podem ser encontradas na madeira, e de acordo com PETERSEN (1984), o seu teor pode ser determinado, através do tratamento da cinza com ácido hidrófluorídrico (HF), para formar compostos voláteis de tetrafluoreto de silício (SiF_4). A perda de massa, representa a quantidade de sílica na cinza da madeira. Nas madeiras de clima temperado, o teor de sílica, se resume a traços, mas pode variar nas madeiras tropicais de um mero traço a um valor superior a 9%. Nas coníferas, segundo MARK (1967), existem geralmente menos de 0,5% de teor de sílica na madeira.

3.2.5. União dos Principais Componentes da Parede Celular da Madeira

Quanto a lignina, segundo EATON; HALE (1993), existem evidências, em frações retiradas da madeira, que ela não está simplesmente infiltrada nos espaços dos polissacarídeos da parede celular, mas o que existe é provavelmente uma ligação química, covalente, segundo SEABRIGHT (1995), que forma complexos lignina-polissacarídeo. Durante a formação das células do xilema secundário, o último componente a ser adicionado é a lignina, que interpenetra as microfibrilas, conferindo assim resistência à parede celular. A associação detalhada da lignina e polissacarídeos, não está completamente entendida, mas acredita-se que ligações entre lignina e hemicelulose são mais predominantes, do que aquelas entre lignina-celulose.

Ainda segundo EATON; HALE (1993), diversos modelos tem sido colocados para explicar a associação entre os componentes polissacarídeos e a lignina da parede celular. Aceita-se que as microfibrilas de celulose, compõem a estrutura da parede, e que as hemiceluloses e a lignina existem como uma matriz, ao redor das microfibrilas. O arranjo detalhado da associação entre esses diferentes componentes, está presentemente baseada em modelo ou suposições teóricas da estrutura interna da parede celular.

O modelo de PRESTON (1962), apud EATON; HALE (1993), da estrutura fibrilar da celulose, identifica uma celulose altamente ordenada, envolvida por moléculas de celulose e hemicelulose, menos ordenadas. Tal modelo é mostrado na figura 10 (a).

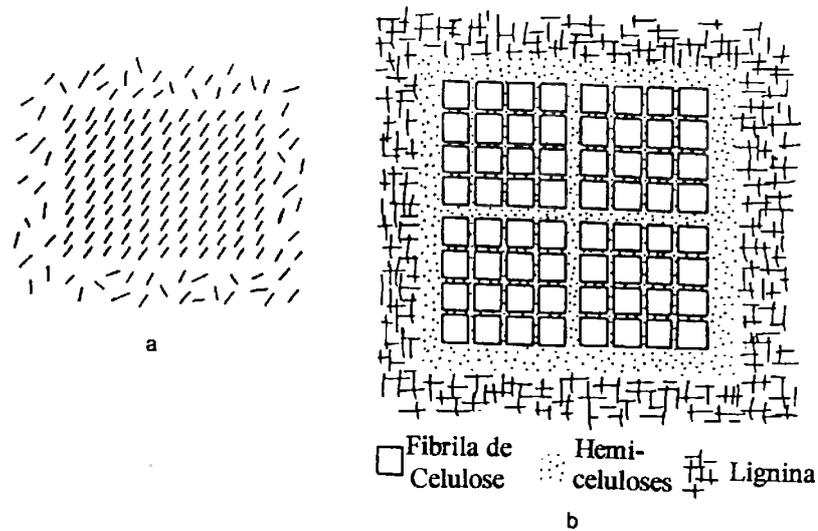


Figura 10 Representação (a) do modelo de Preston (1962), onde fibrilas de celulose são rodeadas por celulosas e hemiceluloses menos ordenadas, e (b) modelo de Fengel (1970), que define unidades fibrilares de celulose menores (3 nm de diâmetro) separadas por camadas monomoleculares de hemiceluloses, a unidade maior (25 nm de diâmetro), envolvidas por hemicelulose e lignina. Fonte: EATON; HALE (1993).

Tal proposta da figura 10 (a), foi mais tarde expandida, levando em conta a lignina na parede celular, e o modelo sugeriu a existência de camadas de hemicelulose de diferentes espessuras, separando as fibrilas individuais de celulose. Agregados destas unidades, estão envolvidos por hemicelulose e lignina conforme a figura 10 (b). Outro desenvolvimento dessa idéia, foi apresentada por FENGEL; WEGENER (1989) apud EATON; HALE (1993), reconhecendo a associação íntima entre celulose-hemiceluloses e hemiceluloses-lignina, e incorporando isso, a um modelo no qual demonstra as ligações nas faces desses componentes, conforme mostra a figura 11.

O modelo da figura 11, também destaca a associação de hemiceluloses separada, envolvidas pela matriz de lignina. NEWMAN (1992), em estudo das relações espaciais entre os componentes químicos das paredes celulares da madeira, pela técnica de ressonância nuclear magnética (RNM), encontrou evidências de uma associação íntima da celulose ordenada com àquela desordenada, e também de O-acetil-4-metilglucuronoxilana com lignina de folhosas e de galactoglucomanana com lignina de coníferas. Esse autor ainda conclui que tal método de RNM, não é suficientemente sensível para testar a segregação de componentes em pequenas quantidades, como por

exemplo detectar glucomananas nas folhosas ou arabino-4-O-metilglucuronoxilanas nas coníferas.

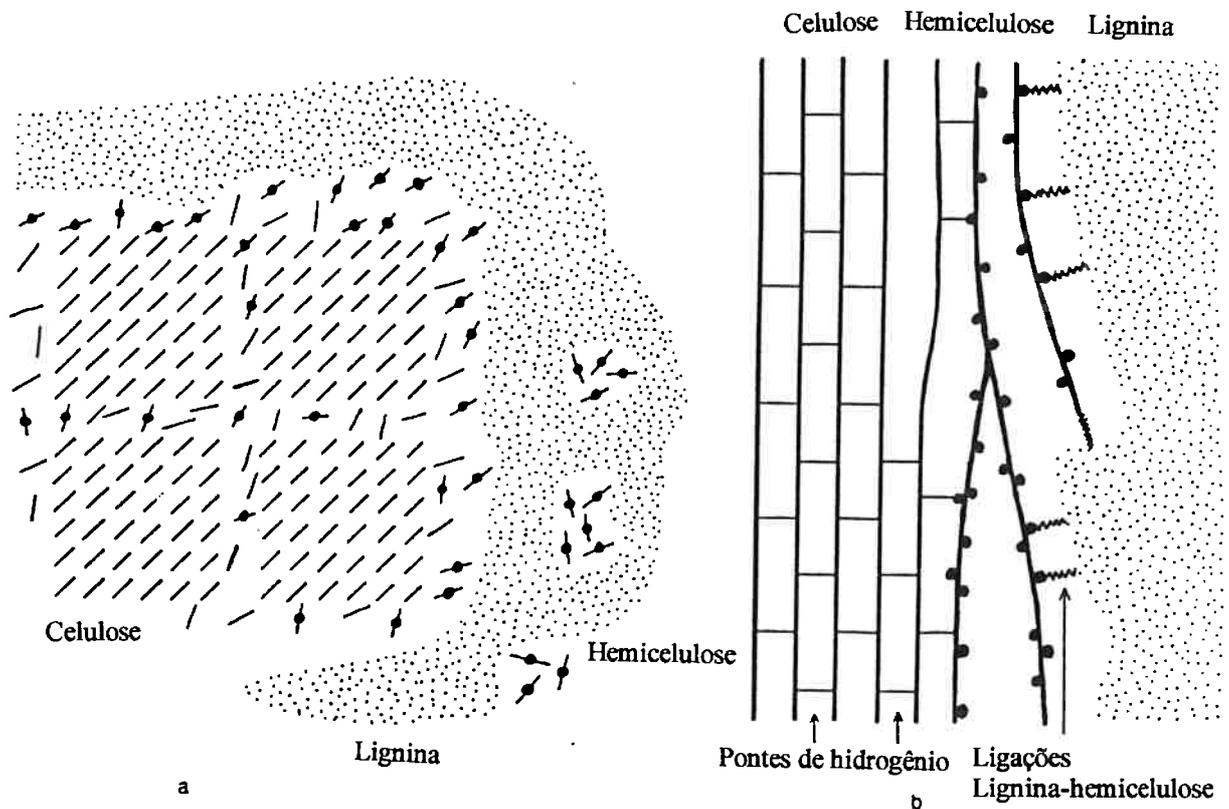


Figura 11 Representação do modelo de Fengel e Wegener (1989) das associações da celulose, hemicelulose e lignina na parede celular vista em (a) sentido transversal e (b) sentido longitudinal. Fonte: EATON; HALE (1993).

3.2.6. Atuação dos Constituintes Químicos nas Propriedades e Desempenho da Madeira

É sabido que o desempenho da madeira, como material de construção em geral, está diretamente ligado aos seus constituintes químicos, e também à organização e composição dos principais tipos de células que compõem a madeira. Assim, as ligações covalentes intra-poliméricas, bem como as próprias pontes de hidrogênio, que em grande quantidade, mantêm unidas as cadeias poliméricas, tem atuação decisiva nas propriedades de resistência. As relações entre as regiões cristalinas e amorfas, além de estarem associadas a resistência mecânica, atuam decisivamente no comportamento higroscópico, definindo assim propriedades físicas importantes, ligadas à maior ou menor

estabilidade dimensional do material. Os componentes secundários, também são importantes, desde o efeito abrasivo, dos elevados teores de minerais, quanto a durabilidade natural da madeira, que está na dependência da quantidade e principalmente os tipos de extrativos encontrados.

3.2.6.1. Influência dos Componentes Principais

Quanto às propriedades mecânicas, MARK (1967), procurou mostrar a sua relação com o grau de polimerização da cadeia de celulose, conforme ilustrado no gráfico da figura 12.

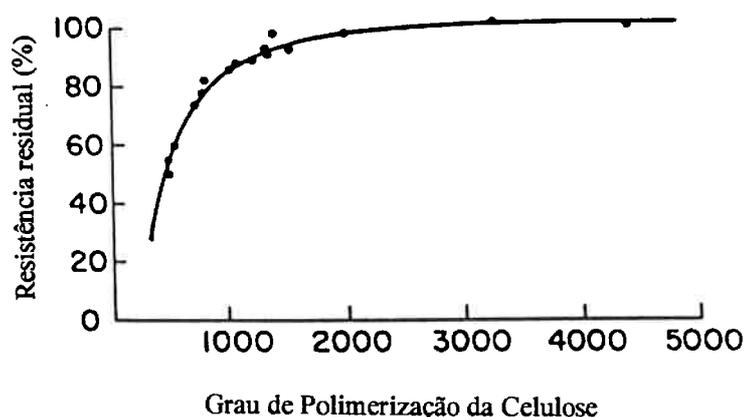


Figura 12 Resistência relativa retida após degradação por aquecimento para a celulose do algodão. Fonte: MARK (1967).

O autor encontrou evidências, conforme mostra o gráfico da figura 12, de que a resistência a tração, e outras propriedades mecânicas atingem valores assintóticos a certo nível de grau de polimerização, acima do qual existe pouca ou nenhuma mudança na resistência, com o aumento deste. Nestas curvas, existe um nivelamento, ou constância, com o grau de polimerização acima de 2.500, sendo que em muitos estudos de resistência a tração, o valor assintótico é alcançado com um valor de DP de 700 a 1.000.

MARK (1967), também examinou a relação entre resistência e lenho inicial e tardio, encontrando uma cristalinidade mais alta no último. Esse foi provavelmente, o primeiro estudo, relacionando a cristalinidade, diretamente às propriedades da madeira.

Assim, tanto para as propriedades de resistência, quanto elásticas, a madeira adulta excede àquela juvenil, ao passo que para madeira de fim de estação de crescimento, tais propriedades são também superiores, àquelas de início de estação.

WINANDY; ROWEL (1984), reafirmam ser a fibra, a fonte de resistência na madeira sólida. Geralmente, a celulose é responsável pela resistência na fibra, devido ao seu elevado grau de polimerização, além da orientação linear da cadeia. As hemiceluloses, agem como matriz para a celulose, aumentando assim a densidade de empacotamento da parede celular. O papel da hemicelulose na resistência da madeira, é desconhecido, mas esta e a lignina estão intimamente associadas. A lignina não somente mantém unidas as fibras, mas também às moléculas de celuloses juntas na parede celular. NAVI et al. (1995), estudaram o comportamento micromecânico da madeira de sitka spruce, uma conífera, submetida a tração axial. Esses autores pressupõem que o módulo de elasticidade na microfibrila de celulose é cem vezes superior ao da matriz. Eles ainda apresentaram como uma das conclusões de seus estudos, que para amostras com pequeno número de traqueídeos, a matriz, composta de lignina e hemiceluloses, poderia ser danificada sob carga de tração, nas regiões de maiores ângulos microfibrilares. Esse fenômeno corresponde a um decréscimo no módulo de Young, mostrado pela curva carga *versus* deslocamento, devido à presença de deformações irreversíveis. Os autores, continuam afirmando que, após o dano local dos traqueídeos, prosseguindo com a aplicação da carga, com o decréscimo do ângulo microfibrilar, poderão explicar o enrijecimento destas, que voltarão a se comportar de forma elástica até a ruptura total da amostra. As propriedades mecânicas, variam com mudanças na temperatura, pressão, umidade, PH, adsorção química do ambiente, radiação UV, fogo, ou degradação biológica.

A celulose é extremamente resistente a tração, devido às ligações covalentes dentro do anel piranosídico, e entre as unidades individuais. As pontes de hidrogênio entre as cadeias, fornecem rigidez a molécula, via transferência de tensões, permitindo à molécula a absorver choque, seguindo fraturamento e recuperação subsequente.

WINANDY; ROWEL (1984), afirmam que a madeira deslignificada seca, tem aproximadamente a mesma resistência que a normal seca, sendo que a úmida, tem somente 10% da resistência da madeira normal úmida. Assim, acredita-se que a resistência da madeira, é em parte devida a habilidade da lignina, em limitar o acesso de

água no carboidrato, diminuindo conseqüentemente, a influência desta, sobre a estrutura de pontes de hidrogênio da madeira. Por outro lado, DONALDSON (1995), estudou as propriedades das fraturas na parede celular, em relação a distribuição de lignina e dimensões celulares em três grupos genéticos de *Pinus radiata*. Ele concluiu que as diferenças no comportamento de fraturas nessas madeiras, estão na maior ou menor lignificação das interfaces das camadas S1/S2 da parede celular. Essas diferenças na fratura, foram observadas após fendilhamento tangencial, nos três grupos genéticos desta madeira, com àquela utilizada como controle ou padrão fraturando predominantemente na interface lamela média/camada S1, da parede celular, enquanto nas outras duas procedências geneticamente relacionadas, tal fratura ocorreu na interface das camadas S1/S2, como conseqüência de lignificação reduzida nessa região.

3.2.6.2. Influência dos Componentes Secundários

Algumas madeiras, segundo WINANDY; ROWEL (1994), tem teores de extrativos acídicos elevados, podendo causar perda de resistência devido a hidrólise, dos componentes poliméricos. Estas, não somente tornarão mais susceptíveis à perda de resistência, mas também aumentarão, o potencial de corrosão, de fixadores metálicos usados nas ligações.

A coloração da madeira, e principalmente de seu cerne, pode ser atribuída fundamentalmente à presença de extrativos no seu interior. FOELKEL (1977), afirma que a presença de tais substâncias pode reduzir a instabilidade dimensional da madeira, ao mesmo tempo que eleva a sua resistência mecânica, notadamente àquela a compressão paralela às fibras. A cura do cimento, em fôrmas de certas espécies de madeira, pode ocorrer de maneira incompleta, graças ao elevado teor de açúcares que estas podem conter. As resinas e compostos de caráter fenólicos, interferem com tintas aplicadas à madeira. A presença de estilbenos em *Dalbergia*, *Pinus*, *Araucaria angustifolia* e *Tectona grandis*, podem causar retardamento na secagem de vernizes, com HILLIS (1986), afirmando que pelo fato de absorverem luz, alguns extrativos afetam a estabilidade destes, enquanto outros reagem também com filmes de tintas, causando o mesmo efeito.

Na produção de compensados, a colagem pode ser dificultada, em madeiras que contém óleo, gorduras ou resinas. Ainda em relação a produção de chapas de compensado, para tapumes, que possui uma camada protetora, é citado na REVISTA DA MADEIRA (1981), que extrativos como óleos, gorduras e resinas dificultam a aplicação desta camada. Várias madeiras contém substâncias corantes. Tais substâncias, podem corar a superfície do concreto, com uma cor que vai do vermelho ao marrom. Este defeito, irá ocorrer somente quando a camada protetora da chapa é defeituosa ou destruída. Além disto o concreto, pode ser corado quando as chapas, contendo corantes, apresentam fendas, ou furos para a passagem de parafusos.

A durabilidade da madeira, é atribuída à presença de extrativos de poder fungicida e inseticida em sua composição. Conforme citado no FOREST PRODUCTS LABORATORY (1987), certos tipos dessas substâncias, afetam acentuadamente a adesão de certas madeiras, além de causar dermatites em operadores de equipamentos como plainas e serras, citado em HILLIS (1962).

CHEN et al. (1995) solubilizaram os extrativos em água quente, na madeira de *Sequoia sempervirens*, e *Quercus spp* (carvalho), notando porém que para a primeira espécie houve um aumento sensível na difusividade de água através do cerne, ao passo que no lenho de carvalho, tal efeito não foi sentido. A partir destes exemplos podemos concluir que o efeito do teor de extrativos no bloqueio das passagens, por onde líquidos saem ou entram na madeira, é dependente do tipo de extrativos, associados a determinadas espécies de madeira.

3.3. Formação, Anatomia e Propriedades Físicas da Madeira

3.3.1. Formação da Madeira

O crescimento e desenvolvimento das plantas superiores é governado pela divisão e multiplicação celular de dois meristemas, apical e lateral. O crescimento do tronco em altura, está diretamente relacionado com o meristema apical, o qual consiste de um conjunto de células com capacidade de se dividir ativamente. Por outro lado, o crescimento lateral, responsável pelo aumento de diâmetro no tronco, está ligado ao meristema lateral, descrito como uma bainha de células, de capacidade reprodutiva, localizada logo abaixo da casca; e que recebe o nome de câmbio vascular.

No meristema cambial, existem dois tipos principais de células, com formatos diferentes. ESAU (1974), afirma que uma das células, chamada de inicial fusiforme, tem o comprimento bem maior do que a largura, sendo que a outra célula, chamada inicial radial, tem um formato variando de ligeiramente alongada, a aproximadamente isodiamétrica. Os tipos de células encontrados no câmbio vascular, estão ilustrados na figura 13.

As iniciais fusiformes e as iniciais radiais, durante o processo de divisão celular, formam o sistema axial e radial respectivamente, do xilema secundário. As iniciais cambiais se dividem, formando células de xilema para o interior e floema para o exterior, com maior proporção de tecido xilemático. São também importantes, os planos de divisão das células cambiais, que poderão ser na direção tangencial, dando origem portanto a uma fileira de células radiais de xilema e floema, divisão esta denominada de periclinal. O aumento do número de células, ao longo da circunferência do tronco, ou a divisão no plano radial é denominada de divisão anticlinal.

Ambos os tipos de divisão, e principais tecidos formados, estão ilustrados na figura 14.

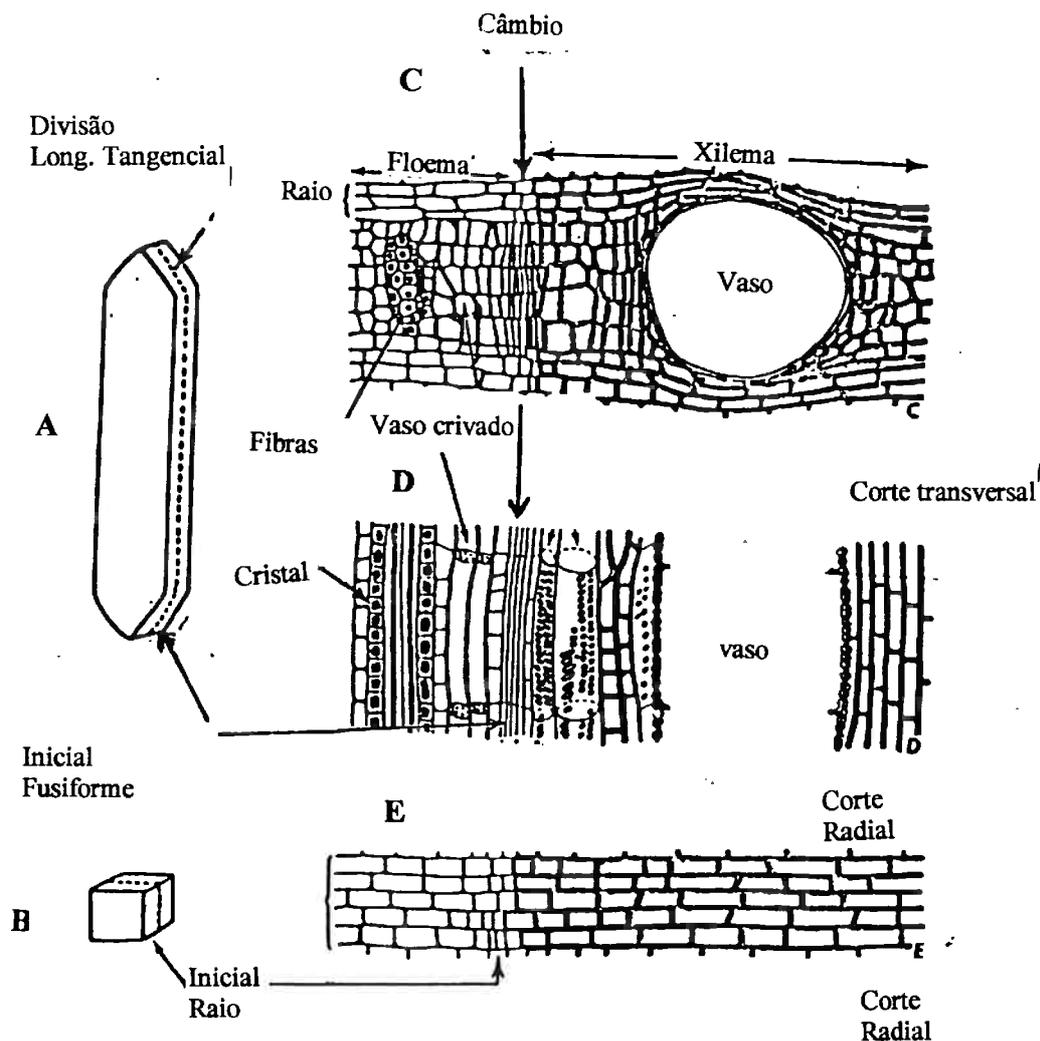


Figura 13 Câmbio vascular em relação aos tecidos dele derivados. (A) diagrama da inicial fusiforme; (B) inicial do raio. Em ambas, a orientação da divisão relacionada com a formação das células de floema e xilema (divisão periclinal) é indicada por meio de linhas interrompidas. C,D,E, cortes do caule de *Robinia pseudoacacia*, incluindo floema, câmbio e xilema. (C) corte transversal; (D) radial (apenas o sistema axial); (E) radial (apenas o raio). Fonte: ESAU (1974).

Um dos principais fatores que afetam o início da atividade cambial, bem como a proporção entre células de xilema e floema está ligado ao controle hormonal, e conforme citado em MOREY (1980), o papel destes é distinto, com a auxina envolvida na diferenciação das derivadas do câmbio, enquanto que a giberelina, estimula a divisão celular, levando à produção das derivadas do câmbio.

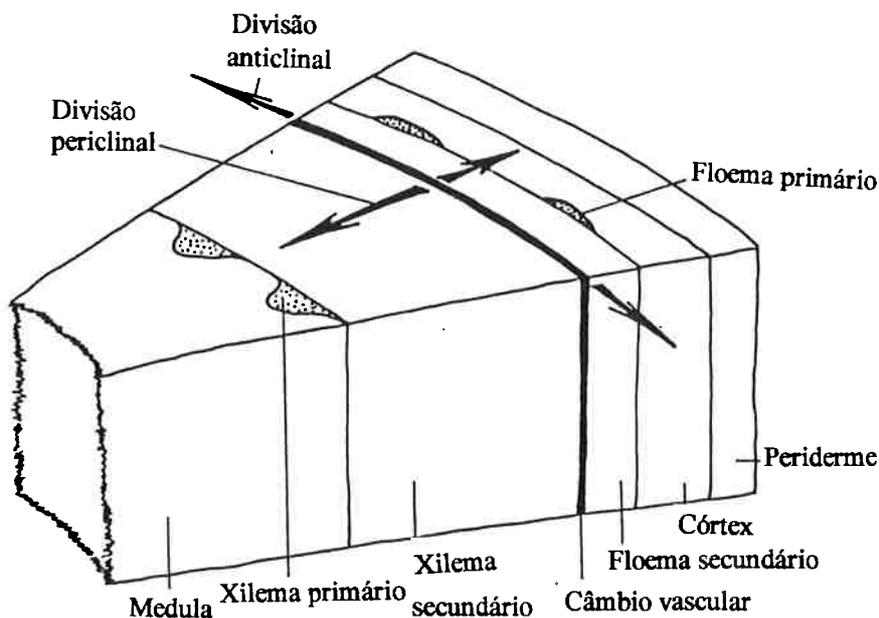


Figura 14 Esquema de um caule lenhoso mostrando a posição do câmbio vascular durante a primeira estação de crescimento. O câmbio vascular através da divisão periclinal forma células do xilema e floema secundário. A periderme, córtex, floema primário colapsado e floema secundário forma a casca. Fonte: EATON; HALE (1993).

3.3.1.1. Formação e Estrutura da Parede Celular

Os diversos tipos de células que compõem a madeira, são diferenciados das iniciais cambiais, através de um processo de desenvolvimento formado por quatro passos, que normalmente se sobrepõem. Tais etapas são: 1 - divisão celular, podendo ser periclinal e anticlinal; 2 - crescimento em área, variável, dependente dos tipos de células a produzir; 3 - espessamento da parede, com formação da parede secundária, através de várias lamelas, formando as camadas da parede celular; 4 - lignificação. Após esta fase a célula não mais aumenta de tamanho, encerrando aí a fase de crescimento.

Em madeira normal, a parede secundária da fibra, consiste de três camadas completamente distintas. Segundo PARHAM; GRAY (1984), a camada mais externa ou S1, é muito fina (0,1-0,2 μm), exibindo um ângulo microfibrilar médio para a camada como um todo, de aproximadamente 50-70°. A grande parte da parede secundária, é constituída pela camada S2, medindo diversos micrômetros de espessura. Nesta camada, as microfibrilas, normalmente estão orientadas em direção ao eixo da fibra, a um ângulo,

relativamente pequeno, de 5-20°. A espessura, e o pequeno ângulo microfibrilar, da camada S2, contribui de forma decisiva, para a alta resistência no sentido axial da madeira. STUART; EVANS (1995), através da técnica de difração de raio-X, estudaram a variação do ângulo microfibrilar para a madeira de *Eucalyptus nitens*. Segundo estes autores, a orientação das unidades estruturais de celulose na parede celular das fibras da madeira, tem uma influência decisiva nas propriedades físicas e químicas desta, particularmente na resistência à tração, rigidez, e na retratibilidade. O ângulo microfibrilar para esta madeira variou de 10 a 20 graus, decrescendo da medula para a casca, e sendo consistentemente menor para o lenho tardio do que para o lenho inicial. Estes mesmos autores afirmam que para a madeira de *Pinus radiata*, os ângulos microfibrilares das paredes radiais dos traqueídeos, foram maiores do que para a parede tangencial. Como explicação aos maiores ângulos nas paredes radiais, os autores citam a influência das microfibrilas de celulose que formam em torno das pontoações areoladas, muito mais numerosas, e de maior diâmetro, do que àquelas das paredes tangenciais desses elementos. A camada mais interna, da parede celular, denominada S3, é geralmente semelhante à S1, embora talvez, um pouco mais fina, com as sub-lamelas formando ângulos de 60-90°, com o eixo da célula.

A estrutura da parede celular, mostrando a parede primária, e as três camadas da parede secundária, é mostrada na figura 15.

Como principal destaque da figura 15, fica a desorganização das microfibrilas da celulose na parede primária, bem como a grande espessura da camada S2, associada a um ângulo microfibrilar relativamente pequeno.

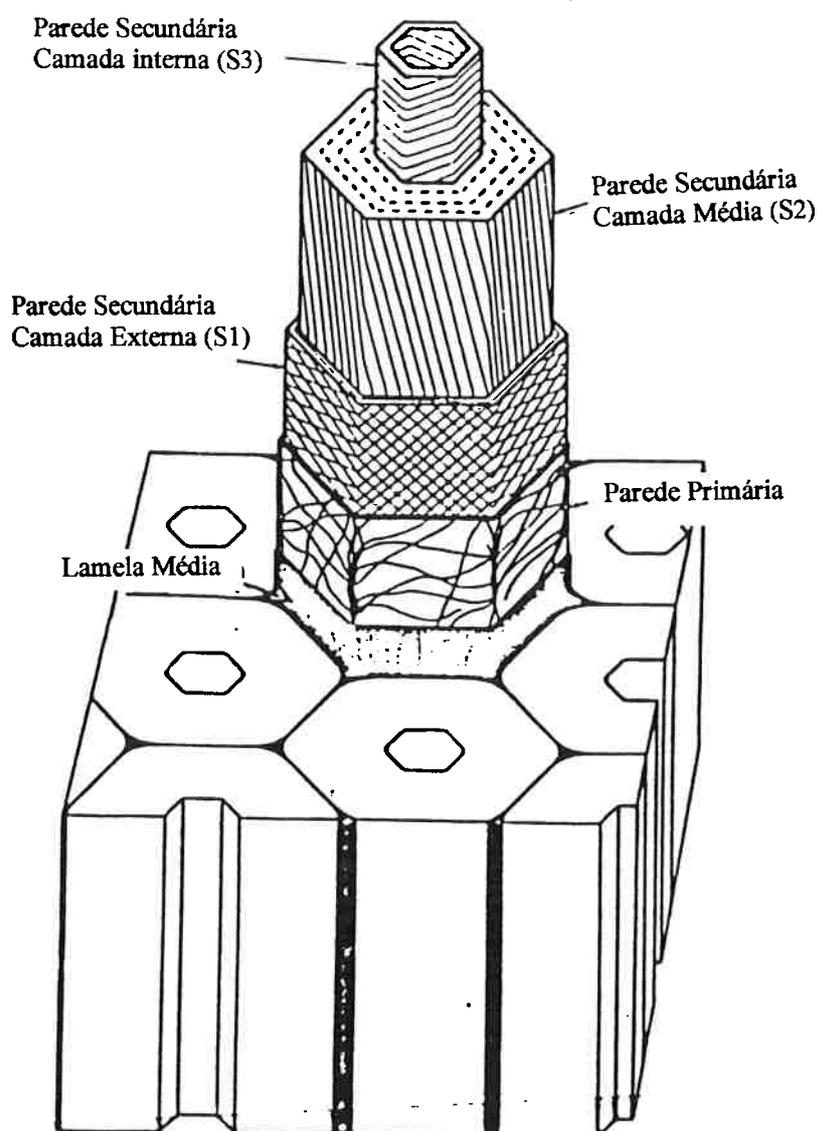


Figura 15 Estrutura simplificada da parede celular de um traqueídeo ou fibra. Fonte: WARDROP, A.B.; BLAND, D.E. (1959) apud MARK, R.E. (1967).

3.3.2. Elementos Anatômicos da Madeira

Uma vez formadas as células que constituem a madeira, estas irão se diferenciar em diferentes tipos, conforme a função que irão desempenhar na árvore ou mesmo na madeira processada. A partir da diferenciação, tais células serão denominadas de elementos anatômicos. A forma, organização e proporção destes elementos, irão definir as principais propriedades de desempenho da madeira, sendo este estudo denominado de anatomia da madeira. Conforme mencionado no ASIAN TIMBER (1995), com base nas

suas diferentes formas, as células da madeira poderão ser divididas em prosênquima e parênquima. As primeiras são finas, ocas e longas, enquanto às últimas são curtas, retangulares ou arredondadas e também ocas. As cavidades são referidas como lume. De um modo geral, as células de prosênquima tem a função de condução de seiva ou suporte, e são formadas com o eixo da árvore, isto é na vertical. As células de parênquima, que tem como função o armazenamento de nutrientes, também estão posicionadas a um ângulo reto ao eixo da árvore, isto é na horizontal, partindo da medula em direção a casca da árvore. Embora esta seja a direção predominante nas coníferas, em folhosas estas células também aparecem formadas verticalmente. As células prosenquimatosas possuem um comprimento de 0,8 a 5,0 mm, e uma vez que a seiva bruta deverá ser conduzida da raiz para a copa da árvore, existe a necessidade de canais interconectores. Estes canais são definidos como pontoações. Estas são complementares, ocorrendo em células adjacentes, formando um par. O transporte de seiva entre lúmens adjacentes, ocorre através da membrana das pontoações. Estas também ocorrem entre células de prosênquima e parênquima. A variação na forma e arranjo dessas pontoações, podem ajudar na identificação das diferentes espécies de madeira. Os principais tipos de células, que compõem o xilema secundário tanto das angiospermas, quanto gimnospermas, estão ilustrados na figura 16.

Como pode ser observado na figura 16, existe uma grande variedade de tipos celulares, o que permite entender as diferentes funções destas no lenho, dependendo portanto, da maior ou menor frequência de aparecimento do elemento. Nos próximos itens, serão discutidos a anatomia da madeira de coníferas, de folhosas, bem como sua relação com algumas propriedades da madeira.

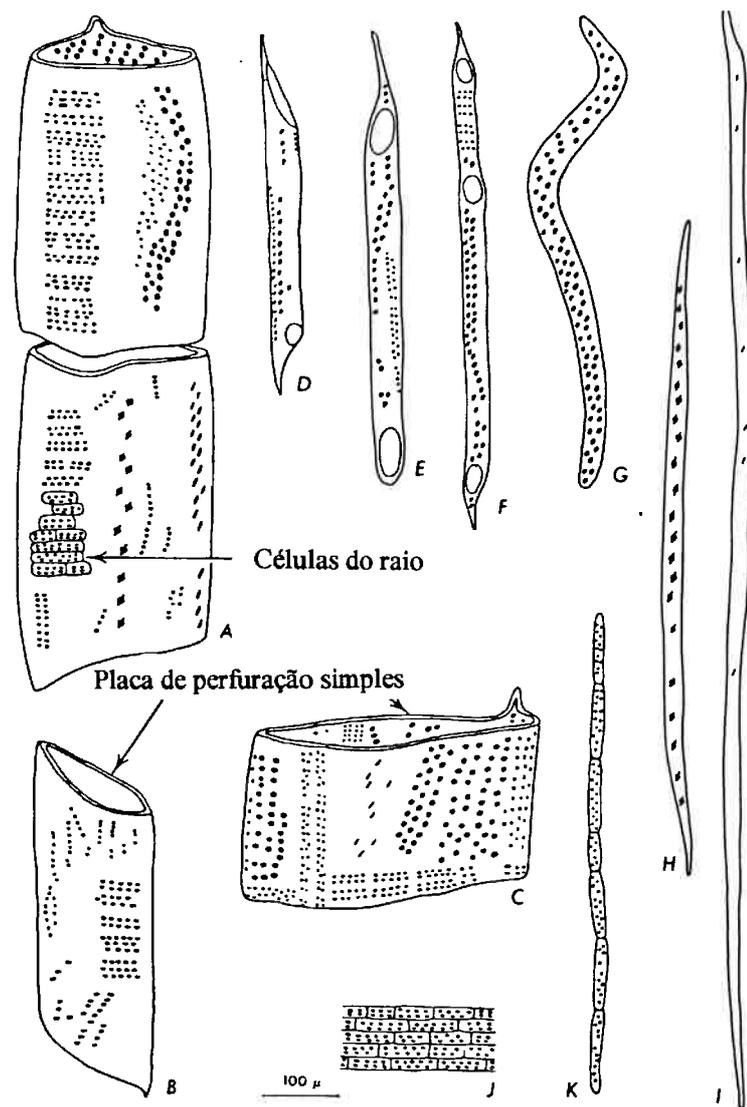


Figura 16 Tipos de células componentes do xilema secundário, obtidas de elementos do lenho dissociado de *Quercus* (carvalho). Diversos tipos de pontuações ocorrem nas paredes celulares. A-C, elementos de vaso, de lume amplo. D-F, elementos de vaso estreitos. G, traqueídeo. H, fibrotraqueídeos, I, fibra libriforme. J, célula parenquimática do raio. K, feixe parenquimático axial. Fonte: ESAU (1974).

3.3.2.1. Anatomia das Coníferas

A madeira das coníferas, possui uma estrutura anatômica bem mais homogênea, e portanto menos complexa que das folhosas. Tal homogeneidade se deve principalmente ao menor número de tipos de células formadoras do xilema secundário, conforme apresentado no quadro 5.

QUADRO 5 - PRINCIPAIS TIPOS DE CÉLULAS DAS CONÍFERAS

Orientadas Verticalmente	Orientadas Horizontalmente
A - Traqueídeos longitudinais	A - Traqueídeos do raio
B - Parênquima axial	B - Parênquima do raio
C - Células epiteliais	C - Células epiteliais
	Raio homocelular: A ou B
	Raio heterocelular: A e B
	Raios fusiformes: A + B + C

O tipo celular predominante nessas madeiras, é o traqueídeo, conhecido como fibra nas gimnospermas, é oco, de seção transversal quadrada ou retangular, chegando a representar em algumas madeiras até 95% da estrutura celular.

A figura 17, ilustra duas células de traqueídeos, formadas no início e no fim da estação de crescimento, respectivamente. A largura destes elementos varia de 35 a 50 μm , e o comprimento médio entre 3 e 5 mm.

É importante observar na ilustração, duas diferenças diretamente relacionadas às propriedades das coníferas, que são a maior espessura de parede, e um menor número de pontoações, ainda com pequenos diâmetros, encontrados no traqueídeo formado no final da estação de crescimento. As pontoações estão relacionadas à passagem de líquidos no lenho, tendo portanto consequência na secagem e preservação da madeira. Quanto a espessura da parede celular, está diretamente relacionada à resistência mecânica, ficando claro, a preferência por células formadas no final do período de crescimento.

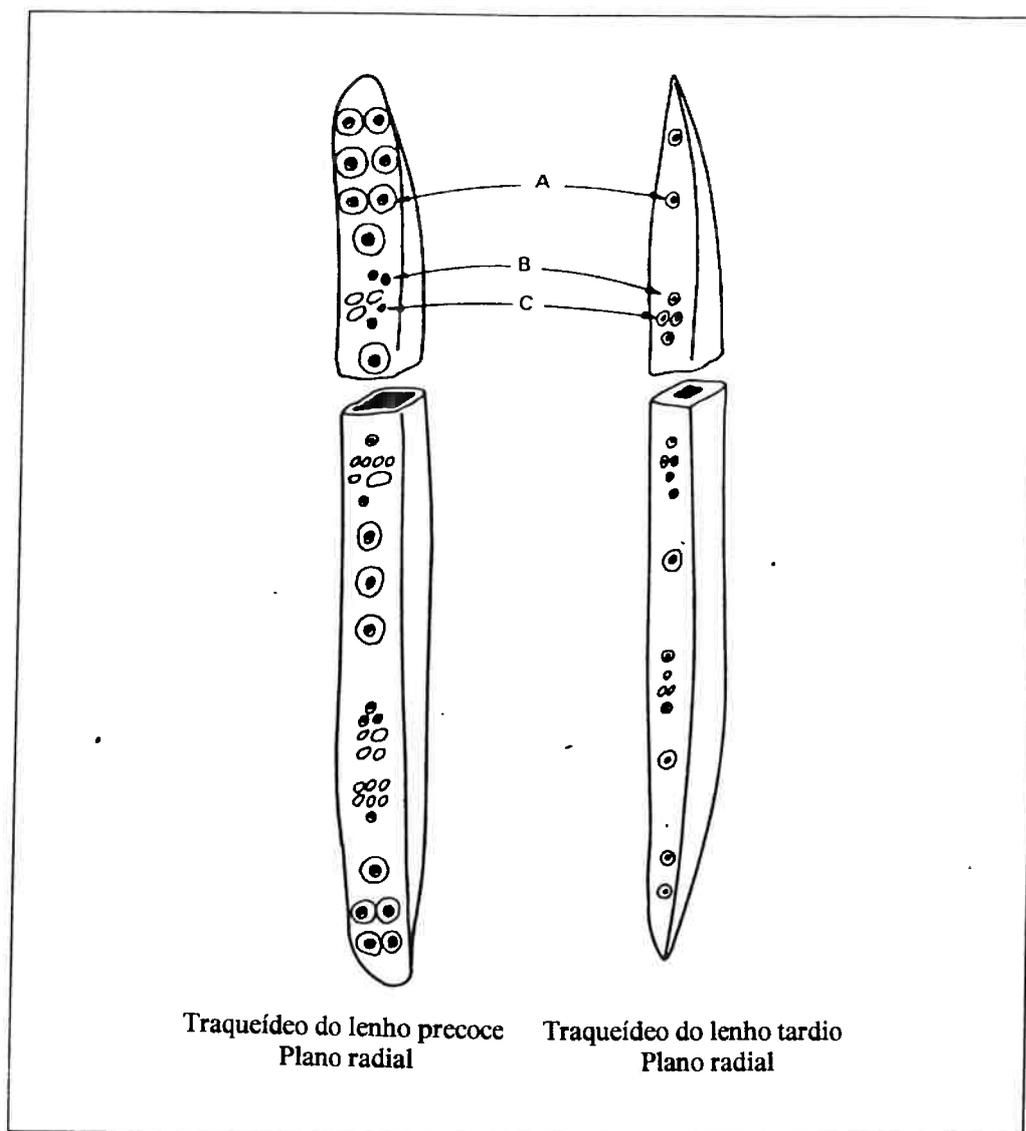


Figura 17 Tipos de traqueídeos do lenho das gimnospermas. (a) pontuações areoladas entre traqueídeos; (b) pontuações areoladas entre traqueídeo axial e traqueídeo radial; (C) pontuações pinóides entre traqueídeo e raio parenquimático. Fonte: CHIMELO (1986).

O quadro 6, exemplifica a variabilidade das dimensões dos traqueídeos em algumas coníferas importantes, quanto a produção de madeira.

No quadro 6, destaca-se principalmente, o comprimento elevado de tais elementos, o que faz com que as coníferas, sejam também denominadas de madeiras de fibras longas, uma vez que estes valores podem superar àqueles das folhosas em 4 ou 5 vezes. Esta característica é importante tanto na indústria de papel, como de chapas, quando o entrelaçamento das fibras, é um dos fatores componentes na resistência mecânica final do produto.

QUADRO 6 - DIMENSÕES DE TRAQUEÍDEOS LONGITUDINAIS EM ALGUMAS GIMNOSPERMAS

Espécie	Diâmetro Médio (μm)	Comprimento Médio (mm)
<i>Sequoia sempervirens</i>	50-65	5,90-7,39
<i>Pinus echinata</i>	35-45	4,46-4,85
<i>Pinus taeda</i>	35-45	4,33
<i>Pinus elliottii</i>	35-45	4,58
<i>Araucaria angustifolia</i>	39	3,87
<i>Juniperus virginiana</i>	20-30	2,15

FONTE: PANSHIN; DE ZEEUW (1980)

Arranjados radialmente na árvore, estão os raios da madeira, compostos de células pequenas, freqüentemente vivas, chamadas de parênquima. Estas células tem função de translocação radial, possuindo um maior papel como armazenadoras, contendo freqüentemente, materiais estranhos tais como amidos, gorduras, óleos, vários açúcares, e deposições inorgânicas tais como cristais de oxalato de cálcio ou sílica. Em algumas espécies, incluindo o gênero *Pinus*, o raio contém células de traqueídeo, que são semelhantes em tamanho ao parênquima, porém mortas na maturidade da árvore. Diferentemente das folhosas, neste grupo de plantas, os raios possuem normalmente, uma célula de largura, exceto em casos especiais.

Ductos ou canais de resinas, são vazios em forma de tubos, orientados longitudinalmente, e radialmente no xilema de algumas coníferas. Estes, são alinhados com parênquima especializado, chamado de células epiteliais, que secretam uma substância (óleo-resina), nos ductos.

A composição volumétrica dos elementos anatômicos de algumas coníferas, é mostrada no quadro 7.

Observa-se no quadro 7, a grande predominância dos traqueídeos, na formação do lenho dessas madeiras. É importante destacar, também a ausência de células de parênquima longitudinal, em algumas espécies de coníferas.

Uma visão dos elementos anatômicos, nos três planos de orientação da madeira, ou seja o plano transversal, longitudinal radial e tangencial, é ilustrado na figura 18.

QUADRO 7 - COMPOSIÇÃO VOLUMÉTRICA DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS DE ALGUMAS CONÍFERAS

Espécie	Traqueídeo Longitudinal (%)	Raios (%)	Canais de Resina (%)	Parênquima Longitudinal (%)
<i>Pinus strobus</i>	93,31	5,29	0,93	-
<i>Pinus pinaster</i>	93,30	6,22	0,60	-
<i>Picea abies</i>	94,1	5,95	0,77	-
<i>Juniperus excelsa</i>	93,5	8,26	-	0,26

FONTE: PANSHIN; DE ZEEUW (1980)

Na figura 18, ficam evidentes alguns aspectos macroscópicos, relacionados à anisotropia da madeira, como a maior dimensão das paredes celulares dos traqueídeos de lenho inicial, na direção radial, com aqueles do lenho tardio apresentando maior dimensão de suas paredes no sentido tangencial, visto no plano transversal, além da presença de células de parênquima e traqueídeos dispostas horizontalmente, na formação do raio da madeira, vistos no plano radial principalmente. Observa-se também um maior número de pontoações no plano radial, evidenciando maior difusividade nesta face.

Apesar de possuírem uma estrutura anatômica simples, as coníferas são bastante heterogêneas quanto ao seu principal elemento anatômico, havendo na maioria das vezes grande variação quanto ao comprimento, largura e espessura da parede dos traqueídeos; principalmente se forem considerados os lenhos formados no início (primavera), e no fim (outono) da estação de crescimento. Tais variações, ocorrem também quando se considera as relações madeira juvenil/adulta, compressão/normal, sentido medula-casca e base-topo.

Mais importante do que as dimensões dos traqueídeos, do ponto de vista tecnológico, são as proporções dos lenhos formados em cada período de crescimento. Esta relação do lenho primaveril para outonal, é importante, pois o primeiro apresenta valores de massa específica muito inferior ao segundo. É portanto mais vantajoso, um maior equilíbrio na produção destes lenhos, o que para as condições de clima tropical, é tarefa muito difícil. RIYANTO; GUPTA (1996), estudaram o efeito da orientação do anel de crescimento na resistência ao cisalhamento paralelo a grã da madeira de Douglas-fir, uma conífera americana. Eles não encontraram grande influência, quando o ângulo

entre a orientação do anel e o plano de cisalhamento variou de 0 a 90 graus. Entretanto, um dos fatores que melhor correlacionou com esta resistência, para essa madeira, foi a percentagem de lenho tardio. Estes autores, afirmam ainda que para essa conífera e outras como àquelas do gênero *Pinus*, apresentam maior resistência ao cisalhamento no plano radial, em relação ao tangencial. Esta vantagem no plano radial, se deve a forma retangular das células do lenho tardio, com o lado de maior largura das paredes, paralelo ao anel de crescimento, ou na direção tangencial, com as paredes mais curtas na direção radial. Daí, o esforço tanto de cisalhamento como de fendilhamento no plano radial, irá sempre atingir uma maior quantidade de parede, do que no plano tangencial, resistindo conseqüentemente mais nesse plano.

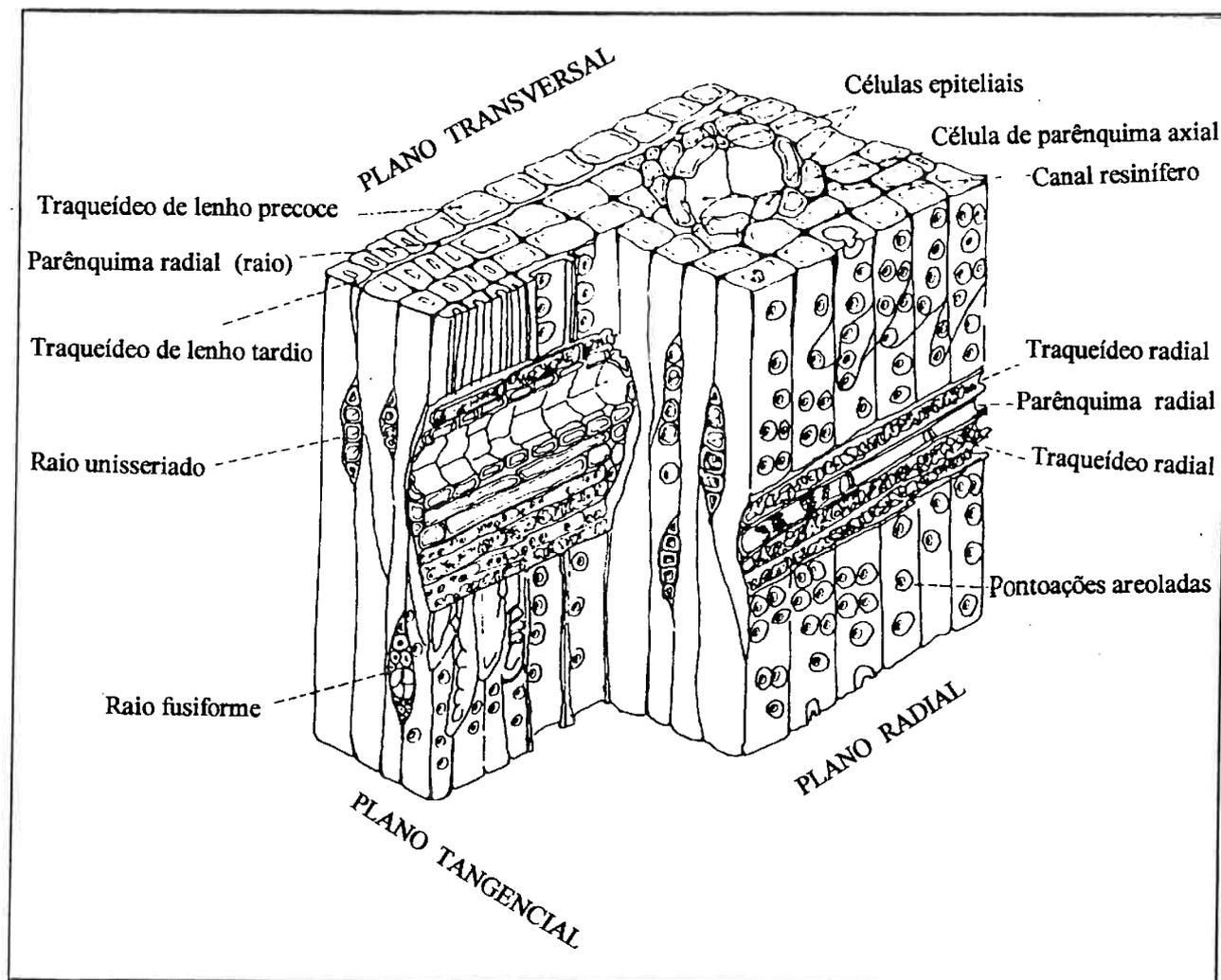


Figura 18 Diagrama de lenho de uma gimnospermas nos três planos de observação. Fonte: CHIMELO (1986).

MOREY (1980), afirma que nas gimnospermas, os traqueídeos do lenho inicial tem um diâmetro maior, com parede celular mais fina, do que àqueles diferenciados no final da estação de crescimento, e a diferença estrutural entre o lenho tardio de uma estação, e o primaveril do ano seguinte, é a base para o reconhecimento da natureza periódica da produção de lenho, vista claramente pela ocorrência do anel anual de crescimento. Quanto a variação da massa específica aparente, MEGRAW (1985), diz que dentro de um dado anel, o valor mínimo atinge a 0,25, enquanto o máximo varia de 0,80 a 0,90. O autor, afirma que os valores mínimos ocorrem próximos, porém nem sempre, no início da estação, com os máximos ocorrendo na maioria das vezes, no meio do período final de crescimento.

Quanto às características tecnológicas, que delineiam a utilização final da madeira de coníferas, a resistência mecânica é dependente da porcentagem de lenho outonal e largura dos anéis, entre outros fatores. Para ENGLERTH (1966), em árvores de *Pseudotsuga sp*, madeira comercial do hemisfério norte, com alta taxa de crescimento, raramente encontra-se uma porcentagem de lenho de final de estação acima de 33%, e os anéis de crescimento, deverão ser relativamente estreitos para a produção de madeira com elevada densidade e resistência. Este mesmo autor, diz ainda que em muitas espécies de coníferas, uma taxa de crescimento, em torno de 10 a 15 anéis por polegada, é desejável para muitos usos, e o lenho com menos de 5 anéis por polegada, caracteriza-se por baixa densidade e resistência, e elevada contração longitudinal.

3.3.2.2. Anatomia das Folhosas

Ao contrário das gimnospermas, que apresentam grande heterogeneidade quanto às dimensões de seu principal elemento anatômico, ou seja o traqueídeo, no lenho das espécies de angiospermas dicotiledôneas, ou seja no xilema secundário das folhosas, isto não ocorre. No entanto, nota-se maior diversidade na morfologia da estrutura anatômica deste grupo, resultando em um maior número de tipos de células, e conseqüentemente maior complexidade, quanto a formação anatômica de tais madeiras.

Os principais tipos celulares das folhosas estão descritos no quadro 8.

As folhosas contém um substancial volume de fibras, mas a característica do xilema secundário do grupo, é a ocorrência de vasos. Assim, todas as folhosas, são

também referidas como madeiras porosas, em contraste com as coníferas, tecnicamente não porosas. O vaso, é composto pela união de vários elementos curtos (0,02 a 0,5 mm). Sua principal função, na árvore, é o transporte vertical da seiva. Para facilitar o fluxo de seiva, as extremidades dos segmentos de vasos são perfuradas, contrastando com as extremidades completamente imperfuradas das fibras.

QUADRO 8 - PRINCIPAIS TIPOS DE CÉLULAS NAS FOLHOSAS

Orientadas Verticalmente	Orientadas Horizontalmente
A - Fibras	Parênquima do raio
1 - Fibras libriformes	1 - Células procumbentes
2 - fibrotraqueídeos	2 - Células eretas
3 - Traqueídeo vasicêntrico	Raio homocelular: 1 ou 2
B - Parênquima axial	Raio heterocelular: 1 e 2
C - Elementos de vasos	

As fibras, devido a presença dos vasos, ocupam um volume proporcionalmente menor do tecido da madeira, comparado às fibras (traqueídeos) das coníferas. Estes elementos também são menores, de acordo com PARHAM; GRAY (1984), em média, em torno da metade na largura e um terço no comprimento, em relação aos traqueídeos das coníferas. AKACHUKU (1985), estudando os efeitos de diversos fatores na proporção destes, no lenho de *Gmelina arborea*, encontrou variação na proporção destes entre os lenhos inicial e tardio. Com predomínio de maior proporção no lenho tardio desta espécie.

A quantidade de células de parênquima, é em média muito superior, em relação ao outro grupo, o que irá resultar na formação de raios mais largos.

A razão entre o volume de vasos para fibras, e espessura das paredes celulares, são fatores importantes na dureza e densidade de diferentes espécies de folhosas, além da permeabilidade a líquidos e gases. A composição volumétrica dos principais elementos anatômicos deste grupo, é mostrado do quadro 9.

QUADRO 9 - COMPOSIÇÃO VOLUMÉTRICA DOS ELEMENTOS DE ALGUMAS FOLHOSAS

Espécie	Vasos (%)	Fibras (%)	Raios (%)	Parênquima Axial (%)
<i>Acer saccharium</i>	21,4	66,6	11,9	0,1
<i>Betula papyrifera</i>	10,6	75,7	11,7	2,0
<i>Populus deltoides</i>	33,0	53,1	13,7	0,2
<i>Quercus rubia</i>	21,6	43,5	21,5	13,5
<i>Ulmus thomasii</i>	25,4	55,4	11,7	7,6

FONTE: PANSHIN; DE ZEEUW (1980)

Observa-se no quadro 9, a variação entre as proporções dos elementos anatômicos, para algumas espécies. As propriedades destas madeiras, variam em função da maior ou menor presença destes elementos, o que está também diretamente relacionado com a adequacidade destas, para as mais variadas formas de utilização da madeira. Assim, caso a madeira deva ser utilizada para fins estruturais, o lenho terá de ser formado pelo maior volume possível de células fibrosas. Além da elevada porcentagem destes elementos, é importante que estes possuam paredes celulares espessas. Madeiras contendo grandes quantidades de células parenquimatosas, com elevada frequência de vasos, de grandes diâmetros, fatalmente não apresentarão comportamento mecânico satisfatório, em relação ao exemplo anterior.

CHIMELO (1980), procurou estabelecer correlações entre as propriedades físicas e mecânicas e parâmetros estruturais, como dimensões dos elementos anatômicos, para 44 espécies de folhosas tropicais.

3.3.2.3. O Estudo da Anatomia da Madeira

O estudo das propriedades anatômicas das madeiras, pode ser realizado com diferentes objetivos, como obter informações que permitam a identificação de uma determinada amostra de madeira, ou para fins tecnológicos. Como finalidade tecnológica, a caracterização anatômica do xilema secundário, permite ao tecnologista da madeira, entender o seu comportamento, quanto às diversas situações de utilização.

Este estudo se baseia em observações macroscópicas, feitas com o auxílio de uma lupa de 10 aumentos, e na microscopia, onde o aumento deverá ser utilizado em função do tipo de estrutura que se deseja estudar. Além das descrições propriamente ditas, faz-se também a mensuração dos diversos elementos anatômicos. A seguir serão comentados, os principais aspectos do estudo anatômico das madeiras.

3.3.2.3.1. Macroscopia

A macroscopia, é a parte da anatomia que possui grande aplicação prática. Uma pessoa bem treinada, poderá reconhecer madeiras em serrarias, ou no comércio, baseado em características estéticas e organolépticas, ou nos caracteres anatômicos macroscópicos, vistos a olho nu, ou com auxílio de uma lupa de até 10 aumentos.

Para tais observações, é necessário que haja um perfeito polimento, ou alisamento da superfície a observar. Daí, os cortes devem ser precisos e homogêneos, características conseguidas com faca ou navalha bem afiada.

A descrição macroscópica do lenho é regida por normas, e no Brasil segue a norma da COPANT (1974). Segundo estas normas, antes de efetuar as análises estruturais devem ser feitas observações de outros caracteres gerais da madeira. Tais características são de extrema importância, e por si só podem levar ao reconhecimento, quando são tomadas de forma correta. Estas características são a cor, brilho, odor/cheiro, textura, densidade básica, resistência ao corte, grã, figura/desenho, camadas de crescimento, distinção entre cerne/alburno, entre outras.

Quanto à descrição macroscópica propriamente dita, esta é feita nos três planos de orientação do xilema secundário das espécies, mas somente no plano transversal, é que se observa um maior número de detalhes que poderão levar ao reconhecimento preciso da espécie em estudo. Neste plano, se observa na maioria das vezes com o auxílio de uma lupa de até 10 aumentos, elementos anatômicos como os vasos, denominados como poros, devendo neste caso levar em consideração além da própria visibilidade, o diâmetro tangencial, freqüência, porosidade, arranjo, agrupamento e conteúdos. Outro constituinte anatômico do lenho, a ser observado macroscopicamente é o parênquima axial, sendo provavelmente a característica mais valiosa do ponto de vista da identificação de madeira, baseada na organização estrutural dos elementos

anatômicos do lenho, tanto a nível macro como microscópico. No plano transversal, quando visto com pequeno aumento, o tecido parenquimático pode estar associado aos poros, sendo portanto chamado de paratraqueal, ou ainda aparecerem difundidos no lenho, sem se associar aos elementos traqueais ou vasos. Quando associado aos vasos o parênquima axial pode aparecer de várias formas: como vasicêntrico, quando circunda o poro completamente; aliforme, quando envolvem os poros formando verdadeiras asas; ou ainda confluyente pela união das asas do tipo anterior; podendo aparecer também formando faixas contendo os poros. O parênquima apotraqueal, ou aquele que não está associado aos poros, também pode apresentar de diferentes tipos como o escasso, que se apresenta difundido no lenho, sendo bastante difícil sua observação a nível macroscópico, pode ainda ser visto de forma difusa, mas formando pequenos agregados de 2 a 4 células; aparecem ainda em faixas, normalmente estreitas, delimitando as camadas de crescimento; podem aparecer também formando um retículo com as linhas radiais, denominado de parênquima reticulado. Num mesmo lenho, pode aparecer normalmente mais de um tipo de parênquima, devendo ser considerado portanto o de maior predominância. Quanto aos outros dois planos de observação, ou seja o plano longitudinal tangencial e o longitudinal radial são menos importantes, quando se trata de análise macroscópica. Entretanto, no plano tangencial, uma característica importante é a estratificação dos raios do lenho, quando apresenta forma regular, esta característica pode fornecer uma importante indicação no processo de reconhecimento macroscópico das madeiras.

3.3.2.3.2. Microscopia

O estudo microscópico do lenho, se faz através de cortes histológicos, de espessura variando de 18 a 22 micrômetros, os quais são coloridos a fim de melhor destacar os diversos tecidos, e por fim são montados em bálsamo, sobre lâminas, que poderão ser observadas por um período de tempo indeterminado. Em cada lâmina são montados três cortes, representando os três planos de observação da madeira. Quanto a ampliação, se utiliza microscópio óptico comum, com aumentos de observações variando de 25-400 aumentos, em geral.

Em microscopia, o plano transversal, fornece também um maior número de detalhes quanto a distribuição dos elementos anatômicos no lenho. Apesar da menor importância, no caso do exame microscópico do lenho das angiospermas dicotiledôneas, tanto os planos radial, como tangencial, são úteis como complemento do estudo da microestrutura da madeira.

As observações devem ser iniciadas pelo tecido vascular, que constitui de 10 a 40% do plano lenhoso, sendo geralmente mais abundante em madeira de cor clara. Quando vistos em corte transversal, os vasos são designados como poros; sendo importante a sua observação quanto ao tipo, ou seja se são múltiplos ou solitários; o agrupamento, em cadeias radiais, tangenciais e ainda oblíquos; conteúdos, de tiloses, depósitos de taninos, oxalato de cálcio, gomas, resinas, carbonato de cálcio, entre outras; a forma da seção, que pode ser circular, oval ou poligonal. Quanto aos planos tangencial e radial, é importante notar as placas de perfurações entre os elementos vasculares; o pontoado nas paredes radiais e tangenciais e as linhas vasculares.

Quanto ao tecido fibroso, este ocupa de 30 a 70% do plano lenhoso, sendo mais abundante nas madeiras de alta massa específica aparente. Ao estudar este tecido microscopicamente, deve-se levar em consideração, características como o comprimento, diâmetro e espessura das paredes celulares, que devem ser observadas em material dissociado. No plano transversal, observa-se a disposição das fibras, que poderá ser radial, ou ainda irregularmente distribuídas no lenho, não apresentando portanto, qualquer ordenamento. Podem ser classificadas quanto à natureza, ou seja: libriformes, septadas, gelatinosas e fibro-traqueídeos.

O tecido parenquimático, é também, como na macroscopia, de grande importância, principalmente com propósitos para identificação de madeiras. O parênquima é formado por células isodiamétricas, curtas, de paredes delgadas, e com numerosas pontoações simples. Divide-se em dois sistemas, um radial denominado de raio lenhoso ou medular; e outro sistema formando o parênquima longitudinal, chamado de parênquima lenhoso, sendo vertical ou axial.

Quanto aos raios lenhosos, podem ocupar de 10 a 40% do plano lenhoso, e estão constituídos por células em fileiras radiais. Podem estar constituídos por células radiais horizontais, ou procumbentes, cujo maior eixo é o radial, ou por células altas, verticais ou eretas, cujo maior eixo é o vertical, ou por ambos os tipos. Podem ocorrer ainda

células quadradas. Além disto, podem ser encontradas células envoltivas, cristalíferas, mucilaginosas, oleíferas entre outras.

No estudo microscópico dos raios, devem ser levadas em consideração, características como a disposição no plano tangencial, que poderá variar de não estratificado, passando a irregularmente, e até completamente estratificado. Ainda, neste plano, deve-se observar a frequência por milímetro linear, altura e largura. Em plano radial, além dos diversos tipos de células, que irão dizer se este é homo ou heterocelular, é possível visualizar conteúdos, tais como cristais de oxalato de cálcio, corpúsculos silicosos, amido, tanino, óleo-resinas, entre outros. Quanto às classes dos raios, realizando-se observações em plano transversal, estes aparecem como tubos simples, em dobro ou mais, denominando-se então, unisseriados, bisseriados ou multisseriados, respectivamente. Já no plano tangencial, os raios aparecem seccionados, em pequenos círculos, quadrados ou retângulos, segundo o tipo de célula constituinte. Se é tão somente uma fileira vertical de células, este é dito como unisseriado, se são duas, bisseriados, e são muitas, diz-se multisseriados.

Quanto ao parênquima lenhoso ou axial, este ocupa de 5 a 30% do plano lenhoso, podendo estar ausente. Quanto a disposição, deve-se levar em consideração, o mesmo sistema de classificação apresentado de forma sucinta no item anterior. Além da disposição, observada em corte transversal, observa-se ainda a forma das células, podendo ser fusiformes, estratificadas ou não, retangulares, entre outras. As observações anteriores, devem ser feitas nos planos tangenciais e radiais. Outras características, como inclusões minerais, cristais que se apresentam com forma acicular, areniforme, drusas, ráfides, entre outras, também devem ser associadas às células parenquimáticas.

Deve ser ressaltado, que para o caso particular das madeiras de coníferas, estas descrições se tornam um pouco difíceis, devido principalmente ao número pequeno de informações que elas fornecem. A pouca variabilidade do lenho de tais madeiras, se deve principalmente devido ao número limitado de tipos de células que as compõem.

3.3.3. Propriedades Físicas da Madeira

Dentre as propriedades físicas da madeira, as mais importantes são a densidade, ou massa específica aparente, expressa de várias formas, na maioria das vezes

relacionando a massa com um determinado volume de madeira; o teor de umidade, que diz respeito à quantidade de água existente na madeira, na maioria das vezes, expresso como a porcentagem em relação a massa absolutamente seca da madeira; e a retratibilidade, que diz respeito a instabilidade dimensional da madeira, sendo diretamente associada ao fenômeno de sorção de água pela madeira.

3.3.3.1. Densidade Aparente

É uma das propriedades, que mais fornece informações sobre as características da madeira, e de acordo com STEWART; POLAK (1975), quanto maior este índice, quase sempre é maior a retratibilidade, e mais difícil de trabalhar se torna a madeira. Também na maioria das vezes, o aumento na dificuldade de secagem, está relacionado à valores mais altos de densidade, sendo por outro lado, altamente correlacionada positivamente com as propriedades mecânicas, conforme demonstrado por exemplo em CHIMELO (1980). Esta propriedade também conforme afirmam GERARD et al. (1995), é correlacionada a certas características de trabalhabilidade, durabilidade natural e impregnabilidade da madeira, entre outras. ARMSTRONG et al. (1984), investigaram o efeito da densidade básica sobre o módulo de elasticidade a flexão estática (MOE), módulo de ruptura (MOR) e a máxima resistência a compressão paralela a grã (Cmax), para importantes madeiras comerciais do mundo. O modelo logaritmo, foi ajustado pelo método dos mínimos quadrados, sendo significativo ao nível de confiança de 95%, quando determinado por análise de correlação. Neste estudo foi detectada, por análise de covariância, diferenças significativas nessa relação entre grupos de folhosas e coníferas. Foram encontrados os seguintes coeficientes de determinação, para a relação entre densidade a 12% de teor de umidade e as seguintes propriedades mecânicas: - MOE 0,78 e 0,79; - MOR 0,91 e 0,89 e - Cmax 0,80 e 0,80, sendo os valores para a condição verde e a 12% de teor de umidade, respectivamente.

Já ZHANG (1994), fez um estudo bem mais completo e detalhado, das relações entre a densidade básica *versus* propriedades mecânicas, para 342 espécies de madeiras chinesas. Este pesquisador, agrupou as 74 madeiras de coníferas e 268 de folhosas em cinco categorias distintas, baseado tanto na classificação taxonômica a que pertencem, quanto em grupos distintos de constituição anatômica. As categorias adotadas foram: 1 -

Primeira Categoria de Coníferas (PCC), onde as madeiras apresentam um transição gradual do lenho inicial para aquele de final de estação, a exemplo dos gênero *Abies* e *Picea*; 2 - Segunda Categoria de Coníferas (SCC), formado pelas coníferas com a transição abrupta de lenho inicial para o tardio, como em *Larix* e *Pinus*; 3 - Categoria das Madeiras de Porosidade em Anel (CPA), como em *Castanopsis* e *Quercus*; 4 - Categoria das Madeiras de Porosidade Difusa (CPD), exemplificadas em *Eucalyptus* e *Populus*; e 5 - Categoria das Madeiras de Porosidade Semi-difusa (CPS), a exemplo dos gêneros *Fagus* e *Juglans*. Segundo ZHANG (1994), os resultados indicam que as relações densidade-propriedades mecânicas, variam acentuadamente com a classe taxonômica, a categoria da madeira, bem como a própria propriedade em questão. O autor concluiu também que, de modo geral, as equações curvilíneas, aparecem como sendo melhor do que às lineares, na predição da maioria das propriedades mecânicas. O autor, encontrou dificuldades para explicar a relação mais íntima entre a densidade e propriedades mecânicas, para madeira de folhosas do que de coníferas, uma vez serem as primeiras possuidoras de estrutura anatômica mais complexa. Entretanto, este considerou razoável o fato de haver associação mais íntima entre essas duas propriedades, para a categoria das madeiras de porosidade difusa do que para àquelas de porosidade em anel, em virtude das primeiras apresentarem uma estrutura mais uniforme. Neste trabalho, o autor mostra gráficos e tabelas, com as associações entre densidade básica e as propriedades mecânicas de maior importância; onde são apresentados os coeficientes de regressão e determinação, para os modelos linear e curvilíneo, para as cinco categorias de madeira adotadas.

A qualidade da madeira sólida é, segundo ENGLERTH (1966), quase sinônimo de sua densidade, e segundo KOLLMANN; COTÊ (1968), as suas variações ocorrem, em razão das diferenças na estrutura e da presença de extrativos. A estrutura é caracterizada pela proporção dos diferentes tipos de células, como fibras, traqueídeos, vasos, parênquima axial e radial, e pelas suas dimensões, principalmente a espessura das paredes celulares. SHIMOYAMA; BARRICHELO (1991), estudaram a influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus*. Estes autores afirmam que para a madeira de *E. grandis*, *E. saligna* e *E. urophylla*, todas de sete anos de idade, as características anatômicas exerceram maior influência na densidade do que as químicas. Dentre as características estudadas por eles,

a espessura da parede celular e o diâmetro do lume das fibras, foram as que exerceram maiores influências sobre a densidade básica destas madeiras, quando analisadas por meio de regressão linear simples e múltipla.

Quanto a densidade da substância madeira, densidade real da madeira, esta apresenta um valor mais ou menos constante para todas as espécies. A dificuldade de determinação desta característica, está no meio de deslocamento adequado, para a determinação do volume de material madeira, de uma amostra. Segundo MARK (1967), os meios de deslocamento comumente usados para medição deste volume, incluem líquidos polares como a água, e líquidos não polares como o tolueno, e gases. O gás hélio, tem sido amplamente empregado como meio de deslocamento. A molécula do hélio é monoatômico, penetrando mais nos vazios da parede celular. Este método, confere um valor de 1,46, para a substância madeira. O uso de líquidos não polares, normalmente, resulta em determinações do peso específico, maiores que aqueles feitos com o hélio, pois há maior penetração de moléculas menores de gás inerte nos microvazios da parede celular, do que um líquido apolar, devido à ausência de forças de tensão superficial no menisco, no gás. Se a água é usada como meio de deslocamento, ela penetra em todas as superfícies, dentro da parede celular, mas não entra nos cristalitos de celulose. Embora, não possa penetrar na rede cristalina, a água expande os microvazios. Os valores de peso específico, então variam de 1,50 a 1,55, sendo assim maiores do que as determinações em outros meios.

Apesar da densidade real da madeira, ser uma característica constante do material, do ponto de vista prático, é maior o interesse na determinação da densidade aparente da madeira, devido ao fato desta ter influencia da porosidade desta. Dependendo da condição de umidade da amostra, a densidade pode ser descrita de várias formas. As duas formas mais usuais de determinação são a massa específica aparente e a densidade básica. A primeira é feita com determinação de massa e volume a um mesmo valor de teor de umidade, para as condições internacionais é de 12%, e para as condições brasileira 15%. A segunda forma, também muito adotada, ou seja a densidade básica, conhecida na literatura internacional como "specific gravity", procura relacionar a massa da madeira completamente seca em estufa, com o seu respectivo volume saturado, ou seja acima do ponto de saturação das fibras.

Quanto a variação da densidade, principalmente em árvores de climas tropicais, nota-se uma ampla faixa de variação, desde valores próximos a 0,20 g/cm³, até os extremos, que podem chegar a 1,20 g/cm³. Existem ainda grandes variações entre árvores de uma mesma espécie, afetadas, principalmente, por fatores genéticos e ambientais. WANG et al. (1984), confirmaram diferenças significativas entre densidade em progênies e entre árvores de mesma progênie, em estudo da variação da densidade entre vinte progênies de *Eucalyptus grandis*. RIBEIRO; ZANI (1993), estudaram a variação da densidade básica da madeira em espécies de *Eucalyptus*, e uma de suas conclusões importante, foi àquela em que afirmam que as variações edafoclimáticas entre locais de amostragem, afetaram a densidade básica da madeira de *E. grandis*, procedência de Mogi-Guaçu - SP. Segundo estes autores, houve decréscimo na densidade básica, com a melhoria das condições edafoclimáticas, observadas no sentido norte-sul do estado de São Paulo. Segundo VITAL (1990), a densidade da madeira de árvores de rápido crescimento não é afetado pela adubação. Em coníferas o autor afirma que o impacto da adubação na densidade pode ser superior aquele observado para folhosas.

WILKINS; HORNE (1991), examinaram a influência de tratamentos silviculturais na densidade básica da madeira de *E. grandis*, em plantações de 4,5 anos na Austrália. Os tratamentos avaliados por estes autores foram: - fertilização (F); - capina química ou herbicida (H); - inseticida (I); - fertilizante + herbicida + inseticida (FHI); - aração + desbaste (AD) ; e - controle (C). Os tratamentos de aração + desbastes foram aplicados também para todos os demais tratamentos, exceto para o controle. Para a madeira de *E. grandis*, estes pesquisadores concluíram que uma densidade média mais alta foi associada aos tratamentos silviculturais FHI, F, H e I, que produziram taxas de crescimento mais elevadas. Eles afirmam ainda que tais tratamentos poderiam ser empregados para aumentar a densidade da madeira, enquanto ao mesmo tempo aumentam o volume produzido e melhoram a qualidade das toras comercializáveis, pela distribuição mais favorável da densidade dentro do tronco. O tratamento F, ou seja a fertilização, segundo estes autores, produziu a mais alta proporção de madeira mais densa, com acréscimo de 11% na densidade média das toras, ao passo que o tratamento FHI, ou seja a associação de fertilizante, herbicida e inseticida, produziu o maior volume

de madeira, com o volume médio por tora sendo acrescido em até 270%, em relação ao controle.

Com relação a taxa de crescimento, ZHANG (1995), estudou o seu efeito sobre a densidade básica e propriedades mecânicas de espécies individuais, representativas de quatro categorias de madeiras. Em seu estudo, o autor definiu duas categorias de madeira de coníferas, sendo a primeira representada por espécies com transição gradual entre os lenhos inicial e tardio (PCC), e a segunda, por aquelas espécies onde a transição desses lenhos ocorre de forma abrupta (SCC). As outras duas categorias, foram representadas por espécies de folhosas de porosidade difusa (CPD) e por aquelas madeiras de porosidade em anel (CPA). Este autor, concluiu que de maneira geral, a taxa de crescimento parece ter menor influência nas coníferas de transição abrupta (SCC), do que naquelas de transição gradual entre o lenho inicial e tardio (PCC), com relação a densidade e propriedades mecânicas, que diminuem significativamente com o aumento da taxa de crescimento. Para as folhosas, embora a taxa de crescimento não tenha influência significativa tanto na densidade, como nas propriedades mecânicas, seu efeito nestas últimas é maior que na densidade, como indicado pelo coeficiente de correlação. Para as espécies de porosidade em anel (CPA), a taxa de crescimento teve pouca influência na densidade e nas propriedades mecânicas, inclusive com tendência de aumento destas propriedades, nas taxas de crescimento mais elevadas, para algumas espécies. Ainda dentro de uma mesma espécie, esta, varia significativamente dentro de uma mesma árvore, tanto na direção medula-casca, sendo no caso das coníferas, dentro de um mesmo anel anual, representado pelo lenho inicial, com densidades muito inferiores às do lenho produzido no final da estação de crescimento; como também varia no sentido longitudinal ou base-topo.

WIEMANN; WILLIAMSON (1987), estudando o comportamento da densidade, no sentido medula-casca, para espécies pioneiras como *Hampea appendiculata*, *Heliocarpus appendiculata* e *Ochroma pyramidale*, na Costa Rica, concluem que tais espécies apresentaram extremos incrementos radiais de densidade, com estes, sendo função linear da distância medula-casca, resultando nas árvores de grandes diâmetros, na triplicação, ou mesmo quadruplicação da massa específica aparente. OLIVEIRA et al. (1990), trabalhando também com uma espécie pioneira de *Xylopia sericea*, na região de Viçosa-Minas Gerais, não encontrou grandes variações de densidade na direção medula-

casca, com um acréscimo de apenas 0,120 g/cm³, da periferia em relação à medula, de uma seção transversal próximo ao DAP. Quanto a variação no sentido base-topo, para a espécie anteriormente citada, também encontrou-se uma pequena variação, com densidade básica variando de 0,60, próximo à base, a aproximadamente 0,48 g/cm³, próximo à copa; a uma altura de aproximadamente 12 metros. OLIVEIRA; DELLA LUCIA (1994), estudando a madeira de três espécies de coníferas; *Araucaria cunninghamii*, *Pinus caribaea* e *Pinus oocarpa*, verificaram para as três espécies, uma tendência de redução da densidade, a medida que se distancia da base das árvores, em direção ao topo. Também concluíram que estas três madeiras, apresentaram densidade e propriedades mecânicas inferiores àquelas produzidas pelas mesmas espécies, em outras regiões do planeta.

3.3.3.2. Teor de Umidade

Apesar de não ser considerada uma característica intrínseca da madeira, o estudo da umidade é indispensável, por se tratar de um parâmetro que afeta todo o comportamento da madeira, quanto à trabalhabilidade, estabilidade dimensional, resistência mecânica e durabilidade natural. Daí, a madeira deverá sempre ser utilizada, com uma umidade próxima ao teor de equilíbrio higroscópico, que é função das condições de umidade relativa, e temperatura do ar, próprios de cada região. Para as condições brasileiras, esse teor médio de equilíbrio higroscópico para a madeira, está próximo dos 15%, com algumas variações, dependente de cada região e épocas do ano. Também no caso da distribuição de umidade, dentro da árvore, sabe-se existirem variações significativas, pois a maior ou menor capacidade de retenção de umidade no lenho, está diretamente relacionada a sua densidade.

DURLO; MARCHIORI (1992), afirmam que a molécula de água, por ser polar, tende a unir a outras que também possuem polaridade. Este fato, explica a higroscopicidade da madeira, devido a polaridade da molécula de celulose e de outros constituintes da parede celular. Como apresentado pelos autores citados, os grupos hidroxílicos da celulose são polares, tendo portanto, a capacidade de ligarem às outras moléculas que também apresentam polaridade, tais como outro radical hidroxílico ou mesmo à molécula de água. A ligação entre os radicais hidroxílicos da celulose, se dá por

pontes de hidrogênio. Estas ligações, na zona cristalina dos cristalitos de celulose, são muito fortes, não restando grupos OH livres, disponíveis para se unirem à água. Na região amorfa das microfibrilas, entretanto, bem como na superfície externa destas, ainda existem grupos hidroxílicos livres. Portanto, a higroscopicidade da madeira, deve-se à sua capacidade de tomar moléculas de água da atmosfera e manter um equilíbrio dinâmico com o vapor d'água.

KOLIN; JANEZIC (1996), estudaram o efeito da temperatura, densidade e composição química sobre o limite de higroscopicidade ou ponto de saturação das fibras (PSF), das principais espécies domésticas de coníferas e folhosas utilizadas no processamento industrial americano. Esse limite, ou PSF, segundo SKAAR (1988), é definido como um teor de umidade abaixo do qual as propriedades mecânicas da madeira, aumentam com o seu decréscimo, mas acima do qual elas são independentes deste. Também, este ponto poderá, segundo SIAU (1984), ser definido como o estado de umidade da madeira, no qual todas as paredes celulares estão completamente saturadas com água de ligação ou adesão, e com nenhuma água livre nos lúmens das células. Voltando a KOLIN; JANEZIC (1996), estes utilizaram o método da resistência à compressão paralela a grã para determinação do PSF, por ser este considerado pela literatura, como o mais preciso. Segundo estes mesmos autores, a resistência à compressão de amostras a várias condições de umidade, foi determinada para temperaturas de 20, 35, 50, 70 e 80 °C, para a madeira de folhosas, e a 20, 35, 50, 70 e 90 °C, para a madeira de coníferas. Após o ensaio de 2000 amostras, estes autores concluíram que o pré-tratamento térmico fez decrescer o PSF, com o aumento de temperatura. Seus estudos revelaram também, maior decréscimo de PSF, com o aumento de temperatura, para madeira de coníferas do que para as de folhosas. Neste estudo, os autores também demonstraram o decréscimo geral do PSF, com o aumento da densidade da madeira, que poderá ser explicado pela menor porosidade total das espécies mais densas, o que impede assim, o acesso de água aos grupos hidroxílicos nas microfibrilas de celulose, disponíveis para a formação de pontes de hidrogênio.

Além das variações normais, nos sentidos transversal e longitudinal do tronco, deve-se destacar também às diferenças de umidade, existente entre o cerne e o alburno de uma árvore. Principalmente, para o caso de madeiras de clima temperado, nota-se para as coníferas, aumentos de até três vezes no teor de umidade do alburno, em relação

ao cerne. Para as folhosas temperadas, entretanto, não existem diferenças significativas quanto ao teor de umidade do alburno em relação ao cerne. É também importante destacar que madeiras com elevados teores de extrativos apresentam uma higroscopicidade mais baixa.

Ter conhecimento, das propriedades higroscópicas da madeira, é sem dúvida a chave, para uma utilização bem sucedida da madeira como material de construção. Sendo um parâmetro de fácil determinação, o teor umidade da madeira, que expressa em porcentagem a quantidade de água existente nos vazios de sua estrutura, é determinado pela pesagem de amostras na condição úmida, e novamente após secagem completa em uma estufa, a temperatura constante de 103 ± 2 °C. Este parâmetro, também pode ser determinado através de técnica não destrutiva, com boa precisão, através da utilização de medidores elétricos de umidade. Os mais utilizados, são aqueles baseados na resistividade elétrica da madeira, que varia em função do teor de umidade desta. A utilização de tais aparelhos, necessita de alguns cuidados, como a calibração para cada espécie de madeira, temperatura, e utilização correta dos eletrodos. Tais aparelhos, ainda são limitados quanto à faixa de teor de umidade que pode ser medida com segurança, que está entre 6 e 25%. CHEN et al. (1994), desenvolveram uma técnica, para medição de teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras, para a madeira de duas folhosas americanas, com razoável precisão.

Uma vez seca, a uma condição de umidade em equilíbrio com as condições atmosféricas, a madeira não irá apresentar mais problemas associados à retratibilidade, como empenamentos, fendilhamentos, entre outros. Também a resistência da madeira, ao ataque de organismos xilófagos, principalmente os apodrecedores está diretamente relacionado ao teor de umidade da madeira em serviço. Madeiras com teores de umidade abaixo de 20%, está livre de ser atacada por fungos apodrecedores. Também operações de acabamento, como tintas e vernizes, não são bem sucedidos em madeiras com elevados teores de umidade.

3.3.3.3. Retratibilidade

A retratibilidade é, segundo o IPT (1985), o fenômeno da variação dimensional, da madeira, quando há uma alteração no seu teor de umidade. As variações nas

dimensões das peças de madeira, começam a ocorrer, quando esta perde ou ganha umidade, abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF). O princípio da retratibilidade, se deve ao fato das moléculas de água, estarem ligadas por pontes de hidrogênio às microfibrilas dos polissacarídeos que formam a madeira, e quando estas são forçadas a saírem, deixam um espaço, e as forças de coesão tendem a reaproximar as microfibrilas, causando portanto, uma contração da madeira como um todo. O fenômeno da expansão, é o inverso, ou seja quando a água adsorvida pela madeira, tende a penetrar entre as microfibrilas, causando portanto o afastamento delas, e conseqüente inchamento da peça de madeira como um todo. BASSET (1994), enfatiza que essas ligações por pontes de hidrogênio são tão fracas, que a água é facilmente liberada, quando a umidade atmosférica cai, permitindo a madeira a se contrair novamente. Uma vez que as madeiras mais densas, por terem uma maior concentração de células de paredes mais espessas, tendem a absorver mais água por unidade de volume, conseqüentemente tendem a expandir ou contrair mais do que àquelas de menor densidade. Em madeiras densas, mas com elevados teores de extrativos hidrófobos nas paredes celulares, entretanto, as contrações volumétricas poderão não ser muito elevadas.

Por ser um material anisotrópico, no caso da madeira, mais importante do que avaliar a retratibilidade volumétrica total, é ter o conhecimento das variações lineares das dimensões, nas direções transversal e longitudinal. Quanto a esta última, não é preocupante, uma vez que seus valores são muito pequenos, ou menos de 1% para madeira normal, em todas as espécies. Atenção maior, deve ser dado à movimentação transversal nas madeiras, uma vez que estas diferem, conforme a direção tangencial ou radial, sendo a primeira maior que a segunda. KOLLMAN; COTÊ (1968), afirmam que essa diferença entre a retratibilidade radial e tangencial, que era explicada exclusivamente pela influência restritiva dos raios na direção radial, é também adicionalmente explicada, pelo menos para madeira de coníferas, pelo arranjo helicoidal diferente das microfibrilas nas paredes tangenciais e radiais. Nas paredes celulares radiais dos traqueídeos, existem de 50 a 300 pontoações, razão pela qual as microfibrilas são desviadas de seu curso normal. Sem dúvida, uma das causas das propriedades anisotrópicas da madeira, é a orientação das micélas, fibrilas e fibras que formam o tecido lenhoso.

DURLO; MARCHIORI (1992), afirmam que cada um dos constituintes químicos, que não distribuem uniformemente nas diversas camadas da parede celular,

tem por sua vez capacidade própria de contrair ou expandir, quando ganham ou perdem umidade. Este fato, associado às diferentes espessuras das camadas que compõem as paredes, podem juntamente com outros aspectos, explicar o comportamento anisotrópico da madeira. Devido a uma série de fatores, segundo TOMAZELLO FILHO (1994), como a maior extensão das paredes tangenciais, menor ângulo de inclinação das microfibrilas, entre outros, justifica as maiores variações dimensionais na direção tangencial, em relação à radial. Tais valores de contração axial, radial e tangencial, variam de 0,1-0,3; 2-9 e 4-20% respectivamente, com a contração volumétrica variando de 8-26%.

Um índice importante, que obtemos a partir dos valores das contrações no sentido transversal, é a relação entre a contração tangencial, e a radial, a qual dá uma idéia do comportamento das madeiras, em relação a secagem, indicando uma maior ou menor propensão das peças fendilharem. Tais valores, variam de 1,3 a 1,4 para madeiras muito estáveis, a mais de 3, para espécies extremamente instáveis dimensionalmente, como no caso das madeiras de muitas espécies do gênero *Eucalyptus*.

CHAFE (1987), estudando a influência dos constituintes químicos da madeira de eucalipto, na contração, concluiu que esta foi positivamente relacionada aos teores dos polissacarídeos, sendo negativa a influência de teores de lignina e dos extrativos nesta propriedade.

As características de retração da madeira, são bastante diferentes de espécie para espécies florestal, dependendo do modo de condução da secagem, e do próprio comportamento da madeira, o que freqüentemente leva a alterações da forma, e à formação de fendas e empenos.

A determinação da retratibilidade faz-se através de medidas das dimensões lineares de amostras, nas três direções da madeira, ou seja longitudinal, tangencial e radial, durante o processo de secagem. Os valores são reportados, para a variação de umidade da condição acima do ponto de saturação das fibras, para uma condição de secagem completa, ou seja até 0%. Quanto ao percentual da contração e inchamento volumétrica, KOLLMANN; COTÊ (1968), citam que este pode ser obtido, com bastante aproximação, a partir das retrações radial (Rr), tangencial (Rt) e longitudinal (Rl), através da equação:

$$\beta_v = 1 - (1 - \beta_t) \times (1 - \beta_r) \times (1 - \beta_l) \quad (2) \text{ onde;}$$

β_v = contração volumétrica;

β_t = contração tangencial;

β_r = contração radial;

β_l = contração longitudinal.

$$\alpha_v = (1 + \alpha_t) \times (1 + \alpha_r) \times (1 + \alpha_l) - 1 \quad (3) \text{ onde;}$$

α_v = inchamento volumétrico;

α_t = inchamento tangencial;

α_r = inchamento radial;

α_l = inchamento longitudinal.

Se forem desprezados os pequenos produtos dos coeficientes de contração e inchamento, respectivamente, obtém-se as seguintes equações simplificadas:

$$\beta_v = \beta_t + \beta_r + \beta_l \cong \beta_t + \beta_r \quad (4)$$

$$\alpha_v = \alpha_t + \alpha_r + \alpha_l \cong \alpha_t + \alpha_r \quad (5)$$

A fim de diminuir, as retrações da madeira, após o desdobro, esta deve ser secada, ao teor de umidade que corresponde ao de sua aplicação, e à do ambiente em que será utilizada.

3.4. Aspectos Importantes Que Devem Ser Considerados ao Trabalhar com Madeira de Eucalipto

As madeiras produzidas por espécies convencionais, se caracterizam por um crescimento, na maioria das vezes muito lento, e por conseqüência a formação de uma madeira estável. Apesar desta estabilidade, quanto a formação da madeira, existem problemas relativos às etapas de processamento, e posterior uso de muitas espécies nativas. Com relação a madeira de eucalipto, principalmente àquelas provenientes de rápido crescimento, e de povoamentos jovens, tais desafios ainda não estão completamente solucionados. A seguir serão abordados alguns aspectos relacionados ao gênero *Eucalyptus*, madeira juvenil, e algumas das principais etapas de processamento da madeira de eucalipto, bem como da madeira em geral.

3.4.1. Gênero *Eucalyptus*

De acordo com RIZZINI (1981), o gênero *Eucalyptus* pertence à subtribo Eucalyptinae da tribo Leptospermeae, da família Myrtaceae. Tal família é muito grande, com aproximadamente 20 gêneros e 1200 espécies de arbustos e árvores de tamanho pequeno a médio. Conforme afirmam RECORD; HESS (1949), as madeiras desse grupo, como um todo, são duras, pesadas, resistentes, de textura fina, dando um bom acabamento, mas apresentando uma tendência decisiva ao empenamento devido a secagem, sendo portanto sensíveis a alterações de umidade, ou seja não são muito estáveis dimensionalmente.

Quanto ao gênero *Eucalyptus*, propriamente dito, este engloba cerca de 520 espécies, que habitam a Austrália e a Tasmânia, sendo muito poucas nativas nas ilhas ao norte (Java, Filipinas, Papua, Timor, entre outras). HILLIS; BROWN (1978), dizem que por quase 200 anos, a utilização de madeiras de eucaliptos provenientes das florestas originais, ou de regenerações, tem sido aumentada, e ao mesmo tempo, as informações sobre as diferentes propriedades da madeira tem-se acumulado. As primeiras utilizações como lenha para queima, e membros estruturais duráveis, tem dado lugar ao seu emprego na construção de edificações de alta qualidade, além de outras utilizações.

As fontes de eucaliptos, vindas de reflorestamento, serão utilizadas mais efetivamente, quando houver uma conscientização de que, tais madeiras provenientes de plantações de rápido crescimento são, na maioria das vezes “novas madeiras”. Isso quer dizer que, temos de aperfeiçoar os processo de conversão, no sentido de adequação destas madeiras, que possuem algumas características tecnológicas diferentes daquelas formadas em longos ciclos de crescimento, apresentando conseqüentemente propriedades mais estáveis, e adequadas para serem utilizadas, pelos métodos convencionais de trabalhar tais matérias primas.

Quanto às características gerais do gênero, destaca-se o alborno delgado, com menos de 3 cm, e de coloração clara. O cerne segundo ALFONSO (1987), apresenta cor variando desde amarelado, até vários tons pardos, pardo-avermelhados e vermelhos. A madeira apresenta pouco brilho, grã direita à reversa, textura fina à média; macia a moderadamente dura ao corte, com cheiro e gosto indistintos. Quanto a massa específica aparente, esta varia desde as mais leves, passando a média, até àquelas bastante pesadas, ou seja, como publicado por ALBUQUERQUE (1991), valores variando de aproximadamente 0,40-1,20 g/cm³.

O gênero, se caracteriza por uma constituição anatômica muito homogênea entre as espécies, sendo portanto de difícil separação. Como mostrado em ALFONSO (1987), o xilema secundário, na maioria das vezes apresenta poros exclusivamente solitários, existindo portanto exceções como por exemplo as espécies de *E. maculata* e *E. citriodora*, em que estes variam de solitários a múltiplos de 2-4. Quanto ao parênquima axial, o gênero caracteriza-se pela pouca abundância de tal elemento, na maioria das espécies, com tipos variados do difuso esparso, subagregado, vasicêntrico e conflúente. Quanto ao parênquima radial, o gênero possui raios relativamente finos e baixos; com predomínio dos unisseriados, localmente bisseriados e bisseriados. Quanto às fibras, há um predomínio daquelas libriformes, de paredes espessas à muito espessas, naquelas espécies com madeiras mais densas como *E. microcorys*, *E. maculata*, *E. propinqua*, *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. tereticornis*, *E. camaldulensis*, *E. cloeziana*, *E. punctata*, entre outras. Também algumas espécies, apresentam cristais rombóides, em séries cristalíferas, nas células do parênquima axial, ou ainda no raio, como nas espécies de *E. maculata*, *E. citriodora* e *E. siderophloia*. Outra característica importante, em algumas espécies, como *E. maculata* e *E. citriodora*, é a presença de canais traumáticos,

ocorrentes principalmente devido algum “stress”, sofrido pela árvore, durante o período de formação.

Quanto às propriedades da madeira de eucalipto, já existe um volume apreciável de dados, que na literatura brasileira iniciou-se em 1956 no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Em seu Boletim n. 31, o IPT (1956), publicou tabelas de resultados de aproximadamente 40 espécies de eucalipto, descrevendo de forma completa as propriedades físicas e mecânicas de tais madeiras. ALBUQUERQUE (1991), em trabalho desenvolvido pelo LaMEM, através da caracterização físico-mecânica e outras propriedades, sugeriu a indicação para o emprego de dezesseis espécies de eucaliptos para a construção civil. Em trabalho importante, ALFONSO (1987), fez um estudo da caracterização anatômica do lenho e da casca das principais espécies de eucaliptos cultivadas no Brasil. Tal estudo é fundamental, principalmente como suporte, para métodos de separação das diferentes espécies cultivadas no Brasil. A nível internacional, dois textos devem ser destacados, como contendo importantes informações a respeito deste gênero. Aquele publicado pela FAO (1981), com um exemplar escrito na língua inglesa e outro em espanhol, aborda os vários aspectos envolvidos na cultura do eucalipto. Trata-se portanto das interações com o seu habitat natural, limites de ocorrência, condições climáticas e edáficas, características de crescimento, utilização, além de monografia sintética para 112 espécies. Já o segundo texto, editado por HILLIS; BROWN (1978), fornece também várias informações relacionadas a este gênero. Este aborda temas importantes como a escolha de espécies, fontes de sementes, proteção, manejo, produtividade, exploração, aspectos de qualidade e utilização da madeira, bem como informações inerentes à sua tecnologia de um modo geral. Neste texto, são relatadas informações a respeito de 133 espécies de eucalipto, com a colaboração de 33 pesquisadores, especialistas nas diversas áreas da tecnologia da madeira e do eucalipto.

A nível de Brasil, é importante destacar um texto escrito pelo principal responsável pela introdução do eucalipto no país, como espécie de reflorestamento; ou seja o agrônomo Edmundo Navarro de Andrade. Em ANDRADE (1961), são reunidos elementos gerais que tratam do eucalipto, desde a sua história, práticas elementares de sua cultura e exploração, propriedades, utilização e principais espécies e potencialidades no Brasil. Deve ser enfatizado, que os trabalhos citados, e uma série de outros estudos

de tal gênero no Brasil, estão na maioria das vezes baseados em madeira adulta, ou seja, provenientes de árvores de idade avançada.

3.4.2. Madeira Juvenil

Sem dúvida alguma, um dos desafios dos pesquisadores a ser solucionado, é quanto à formação de madeira juvenil, em árvores jovens, de rápido crescimento e pequenas dimensões que, inevitavelmente tendem a compor o mercado madeireiro num futuro bastante próximo. Como o próprio nome já diz, este tipo de lenho é formado pelo câmbio ainda no estágio jovem ou juvenil. Esta madeira também, pode ser referida como àquela mais próxima da medula, que do ponto de vista tecnológico, é diferenciada da madeira adulta nas diversas propriedades, como por exemplo apresentar resistência mecânica inferior. KUCERA (1994), enfatiza que a qualidade entre madeira produzida em cada fase de crescimento da árvore, pode facilmente ser estudada por análise das propriedades anatômicas, físicas e mecânicas, através de anel a anel de crescimento, da medula em direção a periferia do tronco. Cada propriedade gera uma característica polinomial de crescimento definida, que representa a variação da medula para a casca, tendo o tempo como fator decisivo.

MASSEY; REEB (1989), apresentam um método prático e rápido, para estimativa de madeira juvenil na indústria e no mercado; no qual baseia-se na orientação dos anéis de crescimento na seção transversal dos topos de tábuas, e ainda na regra do polegar, que estima o crescimento da madeira na tora da qual foram retiradas. Essa regra, considera que todo anel a partir da medula, que tem a espessura do polegar, é constituído de madeira juvenil, o que para estes autores, em toras de *Pinus taeda*, crescidas no oeste do Texas, nos Estados Unidos, correspondem a um número de dez anéis. Em coníferas, de acordo com SENFT et al. (1985), anéis anuais mais próximos à medula, contêm madeiras com resistência e peso específico mais baixos, contrações longitudinais e ângulos das microfibrilas mais altos do que a média, e células de comprimentos menores. Tais características, inferiores àquelas das madeiras maduras, identificam a formação de madeira juvenil, que para as coníferas compreendem a faixa de aproximadamente 5-20 anéis de crescimento. Já McALISTER; CLARK III (1992), investigando a influência de três locais diferentes, nos EUA, sobre características de

madeira juvenil em pinus, encontraram influências significativas quanto ao local de plantio nas contrações longitudinais, ocorrendo em madeira juvenil, em relação a madeira adulta, e tais dados ainda mostram haver sempre um decréscimo, nas contrações radiais e tangenciais e volumétricas, em madeira juvenil, quando comparadas às madeiras maduras, da espécie estudada. No que diz respeito ao massa específica, em ambos os locais estudados, houve uma queda para a madeira juvenil, quando comparada com a madeira normal ou madura. MAEGLIM (1988), confirma contrações transversais, densidade e características de resistência mais baixas, e uma maior contração longitudinal, como características típicas de madeira juvenil. GORMAN (1985), estudando o efeito de madeira juvenil, compondo o tirante de tesouras, feitas com madeira de *Pinus taeda*, verificou o aumento nas deformações destes, com o decorrer do tempo, acima do normal, atribuindo este comportamento às contrações longitudinais mais elevadas nesse tipo de madeira.

GARTNER (1996), afirma que a região da árvore coberta por casca fotossintética; tecido verde localizado imediatamente abaixo da superfície, nas partes jovens de troncos e ramos, está intimamente relacionada com região da árvore que está correntemente produzindo madeira juvenil. A hipótese desta autora, é que um sinal químico relacionado a fotossíntese pela primeira periderme, causa a formação de madeira juvenil, ou previne a formação de madeira madura. Esse sinal químico, poderá ser a auxina, uma vez serem estas encontradas na zona cambial de árvores de *Pinus silvestris*, de 50 anos de idade, crescendo ativamente. Portanto, conforme esta pesquisadora, a hipótese da casca fotossintética, sugere que a localização da transição madeira juvenil/adulta, seja sistematicamente e casualmente relacionada com a transição entre casca fotossintética e a não fotossintética (ponto de formação da segunda periderme). Esta hipótese, é suportada em primeiro lugar, por um estudo no qual evidencia que a idade de transição da casca fotossintética para àquela não fotossintética, coincide com os valores relatados de idades de transição de madeira juvenil para adulta, para Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) e *Tsuga heterophylla*, ambas coníferas americanas. Por outro lado, foi verificado mudança no perfil do comprimento dos traqueídeos, com aqueles curtos, indicando a presença de madeira juvenil, onde a região de transição para elementos longos, indicando a formação de madeira madura, coincidiu também com a passagem da produção de casca fotossintética para não fotossintética.

KUCERA (1994), estudando a influência do espaçamento em Norway spruce (*Picea abies*), na Noruega, na formação de madeira juvenil, confirmou a hipótese que para esta espécie, o início de formação de madeira madura, na base do tronco, inicia quando o incremento corrente anual em altura atinge o máximo. Ainda para esta espécie, esta idade atingiu 18 a 19 anos para o espaçamento menor, e de 28 a 29 anos para um espaçamento maior. SHEPARD; SHOTTAFER (1992), afirmam que para red pine (*Pinus resinosa*), crescendo no sul dos Estados Unidos, o módulo de ruptura máximo (MOR) e também o mais elevado valor do módulo de elasticidade (MOE) desta madeira, ocorre a partir dos 40 anos de idade, afirmando inclusive que muitas madeiras são cortadas antes de atingirem esse ponto de maturação, ou de máxima resistência mecânica. Estes autores afirmam ainda, que madeira proveniente de desbastes comerciais, são relativamente mais fracas e menos adequadas para utilizações estruturais, do que àquelas de povoamentos maduros.

Com relação às madeiras das espécies de folhosas ou dicotiledôneas lenhosas, a grande diferença em termos de madeira juvenil, está na magnitude das alterações anatômicas e físicas, que ocorrem no sentido da medula para a casca do tronco. Por exemplo, de acordo com MAEGLIN (1987), o comprimento de fibras nas coníferas pode ser quatro vezes maior em madeira madura; ao passo que nas folhosas, as fibras podem aumentar somente duas vezes mais em madeira madura, quando comparadas à juvenil. As características anatômicas, envolvidas nas mudanças de madeira juvenil para adultas, são: o comprimento de fibra, ângulo fibrilar, proporções dos tipos de células, diâmetro celular, espessura da parede celular, celulose, lignina e teor de umidade. Outros fatores tais como massa específica, resistência e retratibilidade variam em consequência de tais características anatômicas. Os problemas decorrentes da formação de madeira juvenil, são excessiva contração longitudinal, empenamento e resistência mecânica reduzida.

Ainda de acordo com MAEGLIN (1987), a madeira juvenil, é aquela formada nas extremidades da copa, enquanto, a árvore ainda é jovem. O período de tempo de formação de tal madeira é variável, para as diferentes espécies, e entre árvores de uma mesma espécie. O grau de distinção da madeira juvenil, quando comparada àquela madura, depende das condições de crescimento e fatores genéticos. Para madeira de folhosas, algumas características de madeira juvenil são:

- menor comprimento de fibras;

- menor comprimento dos elementos dos vasos;
- diâmetro celular menor;
- paredes celulares mais finas;
- maiores ângulos fibrilares;
- maior proporção de fibras;
- menor proporção de vasos; e
- teores mais elevados de holocelulose.

Voltando a citar MAEGLIN (1987), a característica mais crítica, do ponto de vista de empenamento e estabilidade dimensional, no caso de madeira juvenil, é o ângulo microfibrilar. Entretanto, tal característica é controlada geneticamente, sendo possível a seleção e melhoramento de árvores, para reduzir o ângulo fibrilar nesse tipo de madeira, aumentando assim a estabilidade e reduzindo o empenamento.

Para madeiras de eucalipto, segundo HILLIS (1978), os limites de formação de madeira juvenil, ainda não estão claramente conhecidos, e poucas comparações tem sido feitas, entre as propriedades da madeira próxima da medula e àquela normal ou madura. Ainda segundo este autor, a densidade da madeira de árvores maduras é maior do que àquela de madeira juvenil, proveniente de árvores jovens. Também a presença de cerne quebradiço ou frágil, está associado à presença de madeira juvenil de menor densidade, fibras mais curtas e maior ângulo microfibrilar. WILKES (1984), diz que para madeira de eucalipto, a taxa de crescimento tem pouca influência quanto à formação de madeira juvenil. Este autor, afirma que este tipo de madeira, definida pela variação da densidade básica na direção radial, ocupa uma proporção semelhante do diâmetro nas árvores de rápido e lento crescimento, sugerindo portanto um grau de maturidade semelhante em ambos os grupos de árvores.

GERARD et al. (1995), afirmam que a madeira de eucalipto formada na região da medula, apresenta qualidades tecnológicas muito variáveis, sendo freqüentemente qualificada como medíocre também para transformação, e que deverá ser objetivo dos produtores de madeira para a construção, a obtenção de um material menos heterogêneo possível. Estes autores, ainda afirmam que nas plantações de eucalipto, a passagem progressiva da madeira de um estado juvenil a um estado adulto, induz a

importantes variações de propriedades no raio, sendo este fenômeno de origem morfogênica, dependente das condições de crescimento locais e da idade das árvores.

Há uma grande necessidade de se fazer um estudo rigoroso das características anatômicas, associadas às propriedades de resistência na direção da medula para a casca, de árvores de rápido crescimento, como no caso das espécies de eucaliptos provenientes de povoamentos jovens, no sentido de se obter maiores informações da ocorrência de madeira juvenil, de sua magnitude e verdadeiras influências nas propriedades dessas madeiras e indicações para novos reflorestamentos.

3.4.3. Tensões de Crescimento

Existem vários fatores que contribuem para depreciação e perda da madeira serrada de eucalipto. Dentre eles ANDRADE (1961) apud BAENA (1982), assinala que os defeitos de rachaduras são ocasionados por tensões internas que se manifestam após o abate das árvores, e apresentam maior intensidade nas idades mais jovens. O autor descarta as hipóteses correntes na época, que atribuíam estes defeitos à problemas de secagem. Afirmando ainda, que as tensões internas diminuem consideravelmente com o amadurecimento da árvore. Aconselhando entretanto, a não utilização de árvores demasiadamente jovens. SHÖNAU; COETZEE (1989), afirmam que as causas dos elevados níveis de tensões de crescimento não são bem entendidas, mas ligadas ao genótipo, idade, tamanho da tora, taxa de crescimento e inclinação dos troncos. Estes autores ainda citam que a sua severidade é afetada por práticas silviculturais, condições de crescimento e também pelos métodos de exploração adotados. Na Austrália, conforme citado pela FAO (1981), as árvores devem atingir um diâmetro mínimo de 20 cm, para que possam ser abatidas para propósitos de serraria. Sabe-se ainda, de acordo com a fonte anteriormente citada, que a parte externa de qualquer tronco de eucalipto no estado verde, encontra-se sob tração ao longo de seu eixo longitudinal, e que a madeira mais interna, em estado de compressão. HILLIS (1978), afirma que as tensões de crescimento, são iniciadas ainda durante o desenvolvimento da parede secundária. Estas, estão associadas a incorporação de lignina entre as microfibrilas da parede celular, que conseqüentemente causam expansão no plano transversal com redução ou contração das fibras da madeira no plano longitudinal. Essas forças de tração longitudinal, sendo

geradas continuamente dentro das sucessivas camadas de células recentemente formadas, ao longo da circunferência da árvore que está aumentando, irá eventualmente impor altas tensões de compressão na parte interna do tronco, que poderão provocar falhas de compressão das paredes celulares das porções mais internas deste, chamadas de cerne quebradiço ou frágil. Daí, estas tensões irão decrescer em magnitude, com o aumento do diâmetro do tronco, conforme ilustrado graficamente na figura 19.

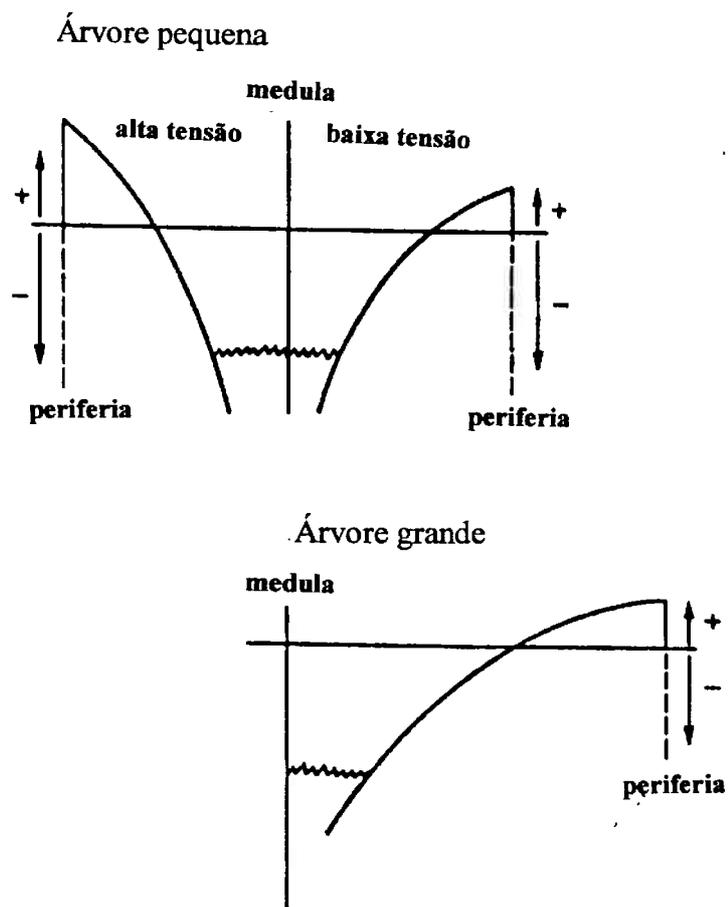


Figura 19 Representação gráfica da distribuição teórica das tensões de crescimento (+ em tração, - em compressão), a diferentes níveis em árvores de diâmetros diferentes. A linha denteada representa a ocorrência de cerne quebradiço devido as falhas de compressão na parede celular. Fonte: Adaptado de Jacobs, 1945 e Boyd, 1950, Apud. HILLIS (1978).

Observa-se na figura 19, níveis de tensões mais elevados para as árvores de diâmetros menores.

Quanto a magnitude dessas tensões, HILLIS (1978), exemplifica que a variação destas, na periferia de um tronco de *Eucalyptus regnans* de 31 anos de idade foi de 3,9 a

5,5 Mpa, e que em outra árvore, também sem inclinação, estas variaram de 1,9 a 44,7 Mpa. Variação semelhante foi obtida para *E. obliqua* de 70 anos de idade. Quando estes valores de tensões de crescimento, são superiores aqueles suportados por tração normal as fibras, a madeira conseqüentemente irá fendilhar.

O principal fator, responsável pelos baixos aproveitamentos em madeira serrada de eucaliptos, de rápido crescimento como cita DE VILLIERS (1973), é a tendência para rachamento das toras antes e durante o desdobro. As altas tensões de crescimento nas árvores são a principal fonte dessas rachaduras, principalmente nas extremidades da tora. O desdobro de toras de *Eucalyptus saligna*, foi observado por GALVÃO (1976), que verificou o aparecimento de empenamento, em conseqüência da desigualdade de comprimento na prancha, resultante de tensões não balanceadas, em que as camadas de madeira mais externa contraem-se longitudinalmente (tração), ao passo que as da região mais interna expandem-se (compressão), durante essa operação. GAIOTTO (1993), estudou a viabilidade da produção de lâminas de madeira de *Eucalyptus saligna* e *E. urophylla*. Ele afirma que o principal aspecto que tem inviabilizado o emprego de *Eucalyptus*, na indústria de compensados, é o aparecimento de acentuadas rachaduras no topo das toras, provocadas tanto pelo rápido crescimento, como pela secagem da madeira. Este mesmo autor, ainda afirma que quando é possível a laminação dessas toras, não é raro após a secagem, as tensões internas provocarem rachaduras e ondulações em toda extensão das lâminas, prejudicando assim a manufatura do compensado.

Após a ocorrência de rachaduras ocasionais de topo, já no abate, é na fase de desdobro que mais se manifestam as tensões de crescimento, por outro desequilíbrio provocado, ocorrendo abaulamento, torções, empenamento e rachaduras a partir da medula.

Quanto as possíveis correlações existentes entre as tensões de crescimento e demais propriedades da madeira, estas são dependentes da espécie. CHAFE (1990), estudou as relações entre estas tensões, densidade e propriedades de resistência, para duas espécies de eucalipto. O pesquisador afirma que enquanto para a madeira de *E. regnans*, as tensões relacionam de forma altamente significativa e positiva com a densidade, e inversamente com a máxima resistência a compressão paralela às fibras, em *E. nitens*, estas relações não ocorrem, ou somente a um baixo nível de significância. Em

nenhum caso entretanto, as tensões de crescimento foram relacionadas com o módulo de elasticidade destas madeiras.

MARIAUX; VITALIS-BRUN (1983), estudaram as tensões de crescimento em árvores de três espécies do gênero *Eperua*, provenientes da Guiana Francesa. Estes pesquisadores afirmaram que para esta madeira, as tensões longitudinais muito elevadas e que levam ao fendilhamento acentuada do tronco no momento do abate, estão relacionadas à grande quantidade de fibras anormais; que podem alcançar a 100%. Eles concluíram que para a madeira deste gênero, denominada comumente de Wapa, a elevada contração (madeira de tração), é caracterizada por uma camada gelatinosa da parede celular; constituída por elevado teor de celulose cristalina, de fibras espessas a muito espessas, e também por um comprimento maior desses elementos, revelando uma diferenciação em relação ao câmbio, relacionado à madeira normal.

Apesar das tensões de crescimento não serem exclusividade da madeira de eucalipto; ocorrendo em outras folhosas e mesmo em coníferas, com menos intensidade nestas últimas, é naquelas madeiras caracterizadas por excepcional ritmo de crescimento, que estas atingem magnitudes mais elevadas, isto na dependência da espécie em questão, diâmetro dos troncos, taxa de crescimento, idade, entre outros fatores. Apesar da existência de técnicas paliativas no controle destas espécies, como os conectores anti-rachaduras do tipo placas dentadas, que são inseridos nos topos dos troncos, durante o período de secagem, que também deverá ser realizada à sombra, imersão em água fria por longos períodos de tempo, quente por tempo variável, medidas mais efetivas na prevenção dessas tensões, terão que, obviamente, estar relacionadas a uma mentalidade menos imediatista, quanto a produção de tais matérias-primas. Um dos muitos argumentos contra esse imediatismo injustificado em relação a madeira de eucalipto, pode vir do sistema de exploração daquela de *Tectona grandis* (teca), na Indonésia. Naquele país, esta madeira, considerada uma das melhores do mundo, é explorada aos 80 anos de idade, de acordo com uma política governamental do setor. VARENNA (1994), afirma ainda que dois anos antes do abate dessas árvores, a casca é toda removida em torno do tronco, próximo à base, a fim de provocar a sua morte, secagem e conseqüente liberação das tensões de crescimento. Portanto, toda solução dos desafios impostos por madeiras jovens, pautados em imediatismo acentuado, nunca serão definitivas, com alta instabilidade quanto a qualidade destes produtos.

3.4.4. Sistemas de Desdobro

Para desdobro de toras de madeira de pequenos diâmetros (até 30 cm), FRÜWALD (1980), sugere a utilização de serras de fita, apresentando as seguintes vantagens:

- produção elevada, devido a alta velocidade de avanço (50m/min.);
- pequena perda, face a pequena espessura da serra (1,3 mm, com espessura de corte menor que 2,4 mm);
- boa precisão e qualidade do corte;
- pequena perda de tempo para substituição de lâminas; e
- a não necessidade de seleção de toras.

Por outro lado, tais equipamentos apresentam as seguintes desvantagens:

- manutenção difícil das lâminas, exigindo equipamento de custo mais elevado para afiação; e
- maior investimento, devido o alto grau de mecanização e automação que o equipamento exige.

LOEHNERTZ et al. (1996), fizeram um levantamento da tecnologia de desdobro em cinco países tropicais: Ghana, Brasil, Venezuela, Indonésia e Malásia. Naquele estudo, estes autores concluem que os problemas mais comumente relacionados ao desdobro, incluem manutenção deficiente das serras, falta de pessoal treinado, equipamento obsoleto, resistência ao desgaste e geometria inadequada dos dentes de serra. No Brasil, além dos problemas mencionados, há necessidade de desenvolvimento e mesmo adaptação dos sistemas de serrarias tradicionais, para que as espécies de rápido crescimento possam ser desdobradas com rendimento satisfatório, principalmente com relação às tensões de crescimento. Equipamento adequado e técnicas próprias de desdobro, é sem dúvida alguma, importante no aproveitamento bem sucedido das toras produzidas por espécies de rápido crescimento, como é o caso do eucalipto no Brasil.

Em publicação do IPT (1985), inúmeros sistemas podem ser adaptados às mais variadas espécies e formas de toras. Do ponto de vista geométrico e anatômico, são três as possibilidades, que englobam praticamente todas as variantes de desenho para o corte

de uma tora. A primeira possibilidade de desdobro é a de corte em função dos anéis de crescimento, um dos mais utilizados, devido ser possível empregar para qualquer dimensão de tora, e principalmente pela simplicidade na sua aplicação. Uma segunda forma de desdobro, é o corte em relação ao eixo longitudinal da tora, que pode ser paralelo ao eixo longitudinal, que consiste no método tradicional de eliminar a diferença entre os diâmetros dos topos (conicidade), serrando costaneiras com espessura que variam de uma ponta para outra e obtendo-se peças serradas paralelas ao eixo longitudinal. Ainda com relação ao método anterior, pode-se fazer cortes paralelos à casca, caracterizado pela retirada de costaneiras com espessuras regulares, finas e iguais em toda a sua extensão. O método anterior, é recomendado para a obtenção de peças estruturais, pois propicia madeira serrada, com melhores características mecânicas, devido a menor possibilidade de seccionamento da grã da madeira, em comparação com o sistema tradicional. Outra possibilidade de desdobro, poderá ser segundo a seqüência de cortes. Esta depende basicamente do equipamento utilizado, podendo ser em cortes sucessivos, efetuados de maneira contínua, paralelos entre si e sempre no mesmo sentido. Geralmente, são produzidos por serra circular simples, com carro ou por serra de fita simples, também com carro. Ainda quanto a seqüência de cortes, destacam-se os cortes simultâneos, que são efetuados por equipamentos que possuem duas ou mais serras, que desdobram a tora simultaneamente. Para esta operação, são utilizadas serras de fitas duplas, quádruplas e serras alternativas. É o método de corte ideal para se desdobrar toras de eucalipto, uma vez que ele permite a liberação das tensões de crescimento, sem contudo quebrar o equilíbrio das tensões na peça desdobrada. Finalmente, o desdobro em seqüência de cortes, pode-se encerrar basicamente com cortes alternados, que são normalmente utilizados com serra de fita simples com carro, ou serra circular também com carro, para toras. Os primeiros cortes são efetuados sucessivamente numa face da tora, para depois voltar a mesma e serrar em outro plano, abrindo novas faces, paralelas ou perpendiculares às primeiras.

3.4.5. A Secagem e Suas Conseqüências

Uma das fases mais importantes no beneficiamento da madeira, é sem dúvida alguma a sua secagem. A madeira estando seca, a uma condição de umidade em

equilíbrio com as condições de umidade relativa e temperatura do ambiente de utilização, poderá ser trabalhada e aplicada nas mais diversas formas, sem que apresente nenhum tipo de problema, como os tradicionais defeitos, decorrentes das variações higroscópicas do material. A seguir serão abordados alguns aspectos da relação água-madeira, e suas conseqüências.

3.4.5.1. Relação Água-Madeira

Os polissacarídeos da parede celular, tem forte afinidade por moléculas de água, tanto no estado líquido, como na forma de vapor. A lignina, por sua vez é quase repelente a água. Quanto aos extrativos, na maioria das vezes diminuem a higroscopicidade da madeira, pois competem por sítios de adsorção de moléculas de água na madeira.

Quanto aos tipos de água encontrada na madeira, podem ser descritos como:

- **Água capilar** - é aquela que está no estado líquido, encontrada preenchendo os espaços vazios no interior da madeira. Tais vazios são os lúmens e espaços intercelulares.

- **Água higroscópica ou de adesão** - Encontrada adsorvida na superfície, e no interior das paredes celulares, situando-se na faixa de teor de umidade de 0 até 28%.

- **Água de constituição** - é aquela que faz parte da estrutura molecular dos componentes da madeira.

A água de adesão, pode ser classificada quanto ao grau de dificuldade, para retirada de tais moléculas da parede celular, sendo:

- **Adsorção monomolecular** - é a fixação da primeira molécula de água nos diversos sítios disponíveis para adsorção. Neste ponto, o nível de energia envolvido, é o mais alto possível, com esta água apresentando uma densidade aparente muito alta, com KOLLMANN; COTÊ (1968), afirmando ser este valor igual a $1,30 \text{ g/cm}^3$.

- **Adsorção polimolecular** - é a fixação de moléculas de água, após formada a adsorção monomolecular, ou seja a segunda, terceira, quarta e quinta camadas de moléculas de água, exigindo menor quantidade de energia que a anterior.

- **Condensação capilar** - diz respeito a água da parede celular. É aquela fixada a partir da sexta camada de moléculas de água, que requer um nível ainda menor de energia para remoção.

O termo sorção de água pela madeira, está relacionado ao processo de entrada desta, e o fenômeno é chamado de adsorção, e à saída, chamada de dessorção. A curva que relaciona a umidade da madeira com a umidade relativa do ar, é chamada de isoterma de sorção. A forma desta curva é semelhante para todas as madeiras, existindo portanto variações consideráveis com respeito aos valores absolutos de higroscopicidade. Tais variações podem ser atribuídas as variações nos constituintes primários e nos extrativos.

As isotermas de sorção para a madeira e os seus constituintes básicos, são apresentadas na figura 20, segundo SKAAR (1972).

A figura 20, mostra claramente a maior higroscopicidade da hemicelulose, comparada à madeira como um todo, e principalmente à lignina. O exemplo dessa figura, segundo SKAAR (1972), refere-se a madeira e constituintes do *Eucalyptus regnans*. Foi calculado que a celulose contribui com 47%, a hemicelulose 37%, e a lignina com 16% da capacidade total de sorção de água para esta madeira.

Quanto ao efeito do teor de extrativos na sorção de água pela madeira, este poderá ser ilustrado, pelo quadro 10.

O quadro 10, mostra a grande variabilidade quanto ao teor de extrativos nas diversas espécies, mostrando também que nem sempre a quantidade destes, é o mais importante, em relação a higroscopicidade da madeira.

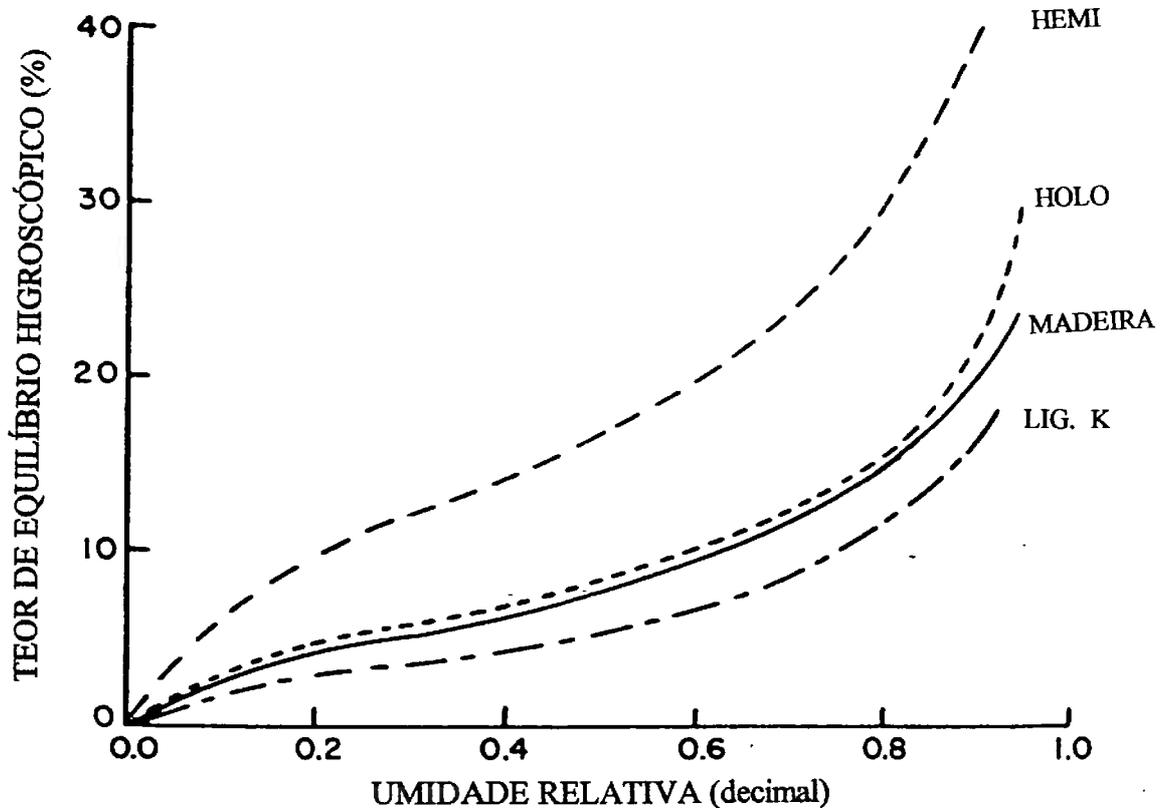


Figura 20 Isotermas de adsorção para hemiceluloses, holocelulose, lignina e madeira à 25 °C. Fonte: SKAAR (1972).

Quanto à secagem propriamente dita, esta consiste na retirada de água da madeira, até um certo nível, que deverá estar em equilíbrio com as condições atmosféricas, do local de utilização desta, tal condição de umidade é chamada de teor de equilíbrio higroscópico (TEH). Dentre as vantagens de secar a madeira, segundo BRASIL (1985); SEABRIGHT (1995), destacam-se:

- **Proteção** - diz respeito principalmente ao aumento da resistência contra fungos manchadores, apodrecedores, bolores, e à maioria dos insetos que atacam a madeira. Uma vez que a madeira tenha sido seca abaixo de 20% de teor de umidade, as chances de ocorrer biodeterioração (fungos de podridão parda e branca) são grandemente reduzidas. Os insetos não são totalmente coibidos por secagem, devendo a madeira ser preservada, caso não ofereça alguma proteção ou durabilidade natural.

- **Custo de transporte** - é uma consequência, da substancial redução do peso, pois quanto menor a massa específica, maior é a porosidade, e conseqüentemente maior é a quantidade de água armazenada no interior da madeira. Existem determinadas

espécies que podem armazenar até três vezes do seu peso em água. Também o manuseio da madeira seca torna-se mais fácil.

- **Otimização das propriedades mecânicas** - a maioria das propriedades mecânicas (a exceção da resistência ao impacto), tais como compressão paralela às fibras, flexão estática e dureza, entre outras, são melhoradas em consequência da secagem da madeira. Madeira a 12% de teor de umidade, apresenta normalmente o dobro da resistência daquela verde. Também as uniões estruturais tem suas resistências aumentadas.

- **Melhoria da trabalhabilidade** - a madeira úmida não é adequada para colagem, ou tratamento preservativo pela maioria dos processos. Acabamentos com pinturas, vernizes e laca, além de outros, só podem ser aplicados à madeira seca. A secagem também é vital para usinagem da madeira, principalmente nas operações tais como torneamento, molduragem, furação, lixamento, entre outras.

- **Corrosão** - Certos compostos químicos, naturalmente presentes na madeira, poderão causar corrosão quando em associação com a umidade, e em contato com fixadores de aço (pregos, parafusos, anéis, tarugos, entre outros), que além de mancharem a madeira, provocarão o enfraquecimento das ligações. Um exemplo destes, é o ácido tânico, presente na madeira de carvalho. Portanto, a remoção de umidade da madeira, irá reduzir grandemente ou mesmo eliminar esse problema.

- **Condicionamento ao ambiente de uso** - a maioria das deformações, empenamentos e rachaduras da madeira, ocorrem durante o processo de secagem. Os produtos de madeira feitos com madeira seca, estarão livres da ocorrência desses defeitos.

- **Isolamento térmico e acústico** - quanto mais seca estiver a madeira, melhores são tais propriedades da madeira, aumentando também a sua resistência elétrica.

- **Conforto ambiental** - a madeira seca, na construção de edificações fechadas, colabora com o equilíbrio da umidade do ar, retirando água quando este está úmido, e cedendo umidade para o ar, quando este está extremamente seco.

QUADRO 10 - ACRÉSCIMO DO TOTAL DE SORÇÃO COM A REMOÇÃO DE EXTRATIVOS DA MADEIRA

Espécie	Teor de Extrativos (%)	Adsorção (%)		Dessorção (%)	
		Umidade	Varição*	Umidade	Varição*
<i>Jacaranda copaia</i>	5,93	25,92	3,38	32,78	2,12
<i>Couratari pulchra</i>	2,88	23,71	3,20	28,16	2,22
<i>Minuartia guianensis</i>	10,25	18,63	7,01	27,33	3,44
<i>Tabebuia sp</i>	5,53	23,71	4,00	26,80	8,43
<i>Ptrocarpus vernalis</i>	8,86	24,47	4,91	26,64	6,19
<i>Hibiscus elatus</i>	7,67	24,01	2,99	24,95	10,15
<i>Goupia glabra</i>	16,03	18,03	8,74	25,06	7,98
<i>Swietenia macrophylla</i>	14,90	23,01	5,89	24,28	13,76
<i>Chlorophora tinctoria</i>	17,05	15,42	11,17	20,52	12,31

FONTE: SKAAR (1972)

* Teor de teor de umidade acrescido com a remoção dos extrativos.

Normalmente as madeiras de coníferas são mais fáceis de secar, o que está relacionado diretamente com a anatomia. Nestas madeiras, normalmente existem menos obstrução à saída de água, que se dá por capilaridade, na forma líquida. Quanto às madeiras de folhosas, além da estrutura ser mais complexa, existem obstruções destas por tiloses ou mesmo por extrativos, tornando tais madeiras mais impermeáveis. Em algumas espécies, além das obstruções capilares, tem-se também pontoações, que são aberturas na parede celular, ligando células adjacentes, de diâmetros muito pequenos, tornando possível portanto o predomínio do processo de difusão, na saída de água na forma de vapor, através da madeira.

3.4.5.2. Conseqüências da Secagem

Já no início do processo de secagem de madeiras, contrações anormais poderão ocorrer, caracterizando um defeito denominado colapso, que se desenvolve por ocasião da perda de água livre. KUO ARGANBRIGTH (1978) apud CAVALCANTE (1991), diz ser o colapso o esmagamento interno das fibras em folhosas, e traqueídeos de

coníferas. Este resulta freqüentemente uma superfície grosseira, rugosa e desigual, podendo ainda causar o empenamento da madeira serrada. O colapso afeta substancialmente as propriedades de resistência da madeira, especialmente a tração perpendicular a grã, e também a resistência ao cisalhamento. BARISKA (1992), afirma ser este o resultado da interrelação entre o teor de água líquida de um lado e a estrutura anatômica, ultraestrutura e a resistência das unidades anatômicas do outro. Em células de vaso e de parênquima axial não ocorre o colapso espontaneamente, mas podem ser distorcidas, pela tensão associada das fibras ou dos traqueídeos. A causa deste esmagamento na parede das fibras, é exatamente o aumento da tensão capilar no lume destas células. Este aumento de tensão é provocado sempre por obstruções das aberturas das pontuações, ou mesmo pelos diminutos diâmetros destas, em algumas espécies.

De acordo com SANTINI; TOMASELLI (1980), o fator limitante, na secagem de madeiras propensas ao colapso, é freqüentemente o problema da remoção da água livre ou capilar contida na forma líquida nas cavidades celulares. BARISKA (1992), através do estudo da madeira de 150 árvores de cinco espécies de eucalipto, afirma que geralmente as fendas começam a aparecer dois dias após o abate, geralmente na parte central entre as regiões da medula e câmbio. O autor ainda afirma ser este um processo rápido, com a maioria das fendas sendo desenvolvidas entre o segundo e quarto dia após o abate. Das espécies estudadas pelo pesquisador citado acima, a madeira de *E. grandis*, foi a que apresentou o menor nível de colapso. Muitas vezes, é necessário empregar baixas temperaturas nos primeiros estágios de secagem, por causa dos riscos associados com a remoção muito rápida da água capilar a elevadas temperaturas. Portanto, para executar um programa de secagem com sucesso e rapidez, é importante compreender exatamente como a água capilar se movimenta de célula para célula no interior da madeira durante o processo de secagem. CHAFE (1990), examinou a ocorrência de contrações e colapso em amostras de madeira de *E. regnans*, seguidas de uma extração seqüencial por água fria e quente, metanol quente e NaOH quente, o qual observou alterações complexas dessas propriedades com respeito a distribuição radial na árvore. O autor citado, concluiu que a extração em água fria teve mais influência sobre a recuperação do colapso; de até 250%, após acondicionamento, ao passo que na madeira extraída por água quente esta recuperação foi reduzida.

ILIC (1995), também preocupado com as dificuldades associadas à secagem de madeira de eucalipto, principalmente devido a ocorrência de colapso e fendilhamento interno, estudou uma técnica que envolve um pré-tratamento de congelamento, para posterior secagem dessas madeiras. Para a madeira de *E. marginata*, o tempo de secagem foi reduzido em resposta ao congelamento. O autor sugere que o principal mecanismo responsável pela contração reduzida nesta madeira, refere-se à migração de umidade da parede celular para o lume contendo água congelada. Essa perda de umidade da parede celular produz uma “contração fria”; com a transformação de água para gelo levando a uma expansão desta na forma líquida no lume, ocasionando então uma tensão compressiva na parede celular, que juntamente com a perda de umidade, a torna mais rígida, e portanto com uma menor contração. Existe também alguma evidência, de que certos tipos de extrativos migram para a parede celular durante o congelamento, podendo então desempenhar um papel de reforço desta. Para ser bem sucedido, o processo de congelamento da madeira, antes da secagem ao ar ou estufa, necessita que esta não esteja completamente saturada, devendo ter aproximadamente 10% de vazios, para evitar o rompimento de suas células, devido a expansão da água ao transformar-se em gelo. Os valores de redução do colapso após pré-congelamento de -20 °C, variou de 25 a 53% para a madeira de *E. regnans* e 40% em *E. delegatensis*.

CHAFE (1993), estudou uma técnica de pré-aquecimento ou pré-ebulição em amostras de cerne de *E. regnans*, na Austrália, visando contornar os problemas das contrações conseqüentes de colapso. Em seu estudo, o autor concluiu que por esta técnica simples, a perda de volume nos produtos de madeira poderia ser minimizada, face ao aumento na quantidade de colapso recuperável, com o estudo sugerindo um período ótimo de ebulição variando de 8 a 16 minutos, e que poderá ser alterado em função das dimensões das amostras.

CAVALCANTE (1991), estudou diferentes tratamentos na prevenção de colapso, por ocasião da secagem ao ar e em estufa da madeira de *E. grandis* e *E. saligna*. Os métodos de pré-tratamento empregados consistiram em colocar a madeira em contato com uma solução de cloreto de amônio (NH₄Cl), na concentração de 5g/l, nas temperaturas de 100, 75 e 50 °C, e também a realização de incisão nas superfícies da madeira. Este autor concluiu portanto que tais tratamentos não foram tão efetivos quanto o esperado, para a madeira das duas espécies, sendo o condicionamento o melhor

método encontrado para a recuperação das madeiras colapsadas. Ele também concluiu que a intensidade do colapso varia significativamente entre as duas espécies de *Eucalyptus* estudadas, como também entre as árvores destas, sendo no entanto a madeira de *E. saligna* mais propensa ao colapso que àquela de *E. grandis*, apesar de sua maior recuperação deste defeito após o condicionamento. Também como uma de suas conclusões, o pesquisador afirma ser a temperatura de secagem um fator decisivo para a ocorrência de colapso, sendo que a intensidade deste aumenta com a elevação do parâmetro.

Infelizmente, o colapso é um dos sérios problemas que afetam a indústria da madeira, principalmente com a utilização de madeira de eucalipto. Além deste, o eucalipto apresenta elevadas tensões de crescimento, que fazem com que a madeira fendilhe, quando é submetida ao processo de secagem, daí a necessidade de atenção redobrada para se executar a tarefa de secagem de madeiras provenientes deste gênero. De maneira geral, tais espécies devem ser secas de forma lenta, evitando condições severas das variáveis que norteiam os rumos da secagem.

Com base em pesquisas desenvolvidas em países onde se utiliza a madeira serrada de eucalipto, a exemplo da Austrália, África do Sul e Chile, segundo BAENA (1982), já se sabe que um dos maiores problemas enfrentados pela indústria madeireira no aproveitamento do eucalipto é a secagem. Este problema está relacionado à ocorrência de rachaduras, as quais, se não produzidas na secagem, são evidenciadas durante este processo. A alta tendência desta madeira ao colapso e a manifestação de tensões internas residuais de crescimento também tem comprometido sua utilização. O rápido crescimento apresentado pelo eucalipto nas condições brasileiras, o número considerável de defeitos, e a falta de informações concretas baseadas em evidências científicas, tem sido fatores altamente limitantes para que a indústria madeireira venha a se beneficiar do aproveitamento desta matéria-prima. Na África do Sul, EDWARDS (1973), afirma que as tensões que aparecem na secagem são mais acentuadas nas madeiras de curta rotação, rápido crescimento e de pequenas dimensões. Entretanto, não se pode generalizar quanto a afirmação que as plantações de florestas de rápido crescimento crescendo em regiões tropicais, produza madeira de qualidade inferior, que as florestas naturais; principalmente quanto as contrações de secagem. HOCK; MARIAUX (1984), através de estudo da contração de amostras de madeira de rápido crescimento, durante o processo de

secagem, afirmam que na maioria dos casos, pouca alteração é notada quanto a esta propriedade. Eles afirmam a existência de alterações muito pequenas nas contrações para a madeira de teca (*Tectona grandis*), ocorrendo mesmo um decréscimo acentuado destas, como por exemplo ocorreu na madeira de limba (*Terminalia superba*); sendo ambas as espécies de rápido crescimento. Para a madeira de outras espécies, entretanto, não se verifica uma lei geral.

A diferença de características entre os tipos de madeira que constituem uma mesma tora, permite explicar o comportamento desigual das suas peças, devido a variação de umidade. O FOREST PRODUCTS LABORATORY (1971), cita que quando as células localizadas na superfície de uma peça de madeira é seca abaixo do ponto de saturação das fibras, ou aproximadamente 30%, as paredes celulares se contraem. Estas contrações das células da região superficial da peça da madeira podem ser suficientes para comprimir o seu interior e causar contração. Sendo então considerada diretamente proporcional à quantidade de umidade perdida pela madeira, abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF). ALEXION (1994), estudou as propriedades elásticas em compressão perpendicular à grã da madeira de três árvores de *E. pilularis* de 60 anos de idade, na Austrália, com DAP variando de 65 a 70 cm. Este estudo, realizado com carregamento lento, foi utilizada numa tentativa de simular o carregamento que ocorre em uma tábua, quando esta é submetida ao processo de secagem. Estes ensaios, tem fornecido a primeira informação compreensiva sobre as propriedades elásticas, da madeira de eucalipto em compressão perpendicular a grã, que em conjunto com dados de ensaios semelhantes em tração, poderão facilitar a modelagem mais precisa das tensões de secagem e a ocorrência de defeitos.

As contrações variam com as espécies e com a orientação das fibras na peça. Normalmente é expressa como a porcentagem da dimensão verde da madeira. Essa redução em tamanho, paralelo ao anel de crescimento, ou circunferencialmente, é chamada de contração tangencial. Tal redução quando ocorre paralela aos raios da madeira, ou radialmente, é chamada de contração radial. A contração tangencial é aproximadamente o dobro ou maior do que a contração radial; como é o caso das madeiras de eucaliptos plantados em nosso país. A contração longitudinal da madeira é geralmente pequena, de 0,1 a 0,2% da dimensão verde. Se madeira de reação e madeira

juvenil estão presentes na peça, a contração longitudinal poderá aumentar apreciavelmente.

As diferenças nas contrações radiais e tangenciais, resultam em distorções da seção transversal das peças serradas. Tais distorções são denominadas empenamentos. Os empenamentos podem ser do tipo abaulamento, arqueamento, celamento e torcimento. Os empenamentos conforme BRASIL (1985), podem ser evitados através de bases de pilhas de secagem bem alinhadas e niveladas, pilhas de secagem bem construídas, espessura uniforme e proteção da pilha com cobertura.

3.4.5.3. Métodos de Secagem

Dentre os métodos de secagem, o mais econômico é aquele no qual a madeira é seca naturalmente, sem a interferência de sistemas artificiais tanto de temperatura quanto de umidade relativa. A secagem natural consiste em empilhar convenientemente a madeira em local ventilado e preferencialmente coberto, a fim de se evitar a incidência dos raios solares e da chuva, fazendo-se o controle do teor de umidade em intervalos regulares, até que se atinja o valor desejado, que estará em função do uso final a que a madeira se destina ou até as condições climáticas da região permitirem, ou seja até que atinjam teores de equilíbrio higroscópicos pertinentes a cada região de utilização. BRASIL (1985), recomenda a secagem ao ar livre particularmente para a secagem inicial da madeira serrada supersaturada de umidade, isto é para a retirada da água livre da madeira. Deste modo, a madeira seria seca, inicialmente, ao ar livre e depois conduzida a um outro processo para a complementação da secagem. A diferença básica entre a secagem natural e a artificial da madeira, é que esta última se realiza em uma câmara fechada, onde as temperaturas são mais elevadas e a evaporação é cuidadosamente controlada. A secagem ao ar pode diminuir a umidade da madeira de 1 a 5% por dia, dependendo do seu tipo, das condições atmosféricas, da construção da pilha entre outros fatores. Dependendo das condições atmosféricas da região de processamento da madeira, a secagem ao ar livre poderá satisfazer totalmente a operação de retirada de umidade da madeira. Exemplo onde a secagem ao ar livre deve ser estimulada é na região do Distrito Federal, onde segundo MARTINS (1985), em meses de julho a setembro, esse procedimento permite a obtenção de umidade de equilíbrio higroscópica

média igual a 5%. Nessas condições de umidade relativa do ar muito baixa, é produzida uma secagem natural bastante acelerada, em que a ocorrência de defeitos como rachaduras e empenos poderão facilmente ocorrer, caso não sejam tomadas medidas preventivas que retardam a saída de umidade a taxas muito elevadas.

CARLOS (1994), apresenta alguns aspectos positivos e negativos que devem ser levados em conta na opção pela secagem da madeira ao ar livre ou natural, que serão descritas abaixo:

- a não necessidade de investimentos elevados em equipamentos e no alto consumo de energia destes, além da exigência de mão de obra especializada, peças de reposição, entre outros fatores. O pátio de secagem exige investimento relativamente baixo, também com baixo custo de manutenção, com facilidade de ampliação;
- a secagem pode ser efetuada próximo do local de extração ou de desdobro, proporcionando considerável economia de transporte;
- a existência de usos, pelos quais somente a secagem ao ar é suficiente;
- a madeira seca ao ar poderá ter sua secagem complementada em estufa, para teores mais baixos. Desta forma, pode-se diminuir os custos e aumentar a capacidade de produção das estufas.

Principais aspectos negativos:

- a secagem é mais demorada ao ar do que na estufa;
- ao ar, não se consegue secar a madeira para um teor de umidade abaixo da umidade de equilíbrio;
- as chuvas por vários dias consecutivos ou freqüentes, retardam consideravelmente a secagem, levando muitas vezes a ocorrência de defeitos que prejudicam o valor comercial da madeira.

Os processos convencionais de secagem artificial da madeira são aqueles em que compartimentos equipados com ventiladores e serpentinas, trocadores de calor, criam condições ambientais rigorosamente programadas, formando verdadeiros gradientes tanto de temperaturas quanto de umidades relativas ao longo de todo processo de secagem. Entretanto, há uma carência desses programas de secagem no que diz respeito às madeiras provenientes de florestas de rápido crescimento como é o caso do eucalipto.

Conforme afirma SEABRIGHT (1995), o movimento de umidade através da madeira, consiste de uma combinação de fluxo capilar e difusão de vapor. O fluxo capilar é o movimento de água livre, através das pontoações e placas de perfurações das células da madeira. Daí, a evaporação de umidade pela superfície, dá-se por forças capilares, que exercem o arraste ou retirada da água livre, existente na madeira. Quando toda água livre é removida dos lúmens das células, a madeira atinge o ponto de saturação das fibras (PSF), que ocorre geralmente quando esta atinge o teor de umidade de 28%. No PSF; onde toda água livre foi removida, começa haver o movimento de água de adesão ou de ligação, que se dá pelo processo de difusão, que é resultante das diferenças na pressão de vapor, que tem sido geradas entre a superfície, e as zonas mais internas da madeira. Na madeira de eucalipto, o processo de difusão de vapor d'água, tem predomínio durante a secagem, devido ser esta na maioria das vezes impermeável á saída de água na forma líquida. Essa dificuldade na saída de água líquida, pelo processo de capilaridade se deve às características anatômicas, como pontoações de pequenos diâmetros e elementos vasculares obstruídos por tiloses.

Um processo de secagem que poderia ser recomendado para madeira de eucalipto, que requer condições mais suaves no que diz respeito a temperatura e umidade relativa, poderá ser a secagem por desumidificação a qual de acordo com MARTINS (1988), é conhecida também como secagem a baixas temperaturas. Seu princípio básico está na redução da quantidade de vapor de água do ar, forçando-o a passar por um desumidificador. A um desumidificador acoplado a uma câmara de secagem dá-se o nome de secador por desumidificação. Como na secagem convencional, o ar é movimentado através da pilha de madeira por um ou mais ventiladores. Entretanto, o ar úmido que vem da pilha é forçado a circular dentro do desumidificador para que parte do vapor de água seja removido (evaporador) e para que o ar seja aquecido (condensador).

Por se processar à baixa temperatura (em torno de 40°C), a secagem por desumidificação é bastante lenta, quando comparada à secagem convencional. Entretanto, por não necessitar de caldeira, seu custo de instalação é bem menor. Estudos tem revelado também que há um menor consumo de energia quando se seca madeira até 20 % de teor de umidade, ficando abaixo de 50% do consumo da secagem convencional, havendo ainda menor incidência de defeitos na madeira, causados pela própria secagem.

3.4.6. Biodeterioração da Madeira

O termo biodeterioração foi definido por HUECK (1965,1968) apud ALLSOPP; SEAL (1986), como “qualquer alteração indesejável nas propriedades de um material, causada por atividades vitais de organismos”. A resistência da madeira aos agentes causadores de sua biodeterioração, variam a nível específico, entre árvores da mesma espécie e também dentro de uma mesma árvore, nas diferentes regiões do tronco. Os organismos deterioradores da madeira podem ser classificados em duas categorias distintas. A primeira diz respeito àqueles organismos não xilófagos, ou seja não se alimentam da madeira, mas podem causar a sua deterioração. Dentre estes, podem estar aqueles eventuais como aves, roedores e o próprio homem, além dos habituais como alguns perfuradores marinhos, insetos e também aves, tendo este último como exemplo típico o pica-pau. A segunda categoria de organismos deterioradores, é a dos xilófagos, ou seja daqueles que se alimentam da madeira. Do ponto de vista econômico tais organismos são os mais importantes, devendo portanto ser abordados de forma mais detalhada. LEMASTER et al. (1997), afirmam que o dano causado nas estruturas, pelos organismos destruidores de madeira nos Estados Unidos é por de US\$ 2.000.000.000 anualmente. Tais organismos degradam a madeira, porque reconhecem nos polímeros naturais da parede celular uma fonte de nutrição, sendo que alguns destes possuem sistemas enzimáticos específicos, capazes de metabolizá-los em unidades digeríveis. Estes organismos podem ser divididos em três grupos distintos que são os microorganismos, representados por: a) fungos, bactérias e fragelados simbiotes; b) xilófagos marinhos representados pelos crustáceos e moluscos, e c) os insetos representados pelos cupins e brocas.

3.4.6.1. Microorganismos

Os microorganismos, ao contrário dos demais organismos xilófagos, segundo OLIVEIRA (1986), desenvolvem-se dentro das células da madeira, onde através da produção de enzimas extracelulares, decompõem os diferentes constituintes da parede ou substâncias químicas depositadas no lume da célula.

Käärik, classifica os microrganismos xilófagos, com base em suas atividades enzimáticas, nos seguintes grupos:

- Microorganismos que se utilizam das substâncias existentes no lume das células de madeira, e que não decompõem, enzimaticamente, as paredes celulares: fungos emboloradores e fungos manchadores.

- Organismos capazes de promover a degradação enzimática das paredes celulares:

- microorganismos com capacidade limitada de degradação: bactérias, fungos de podridão mole;
- fungos apodrecedores, geralmente com alta capacidade de degradação: fungos de podridão parda e fungos de podridão branca.

A deterioração da madeira pelos organismos citados, normalmente não ocorre de forma isolada, mas sim através de uma sucessão na qual a colonização é sempre iniciada pelas bactérias. Estes organismos destroem as membranas das pontoações, aumentam conseqüentemente a aeração, além de espalharem algumas enzimas utilizadas pelos próprios fungos. Após o estabelecimento das bactérias, a colonização ocorre pela seguinte ordem: bolores primários, fungos manchadores, fungos de podridão mole, fungos de podridão branca e/ou parda e os bolores secundários.

Para que ocorra deterioração por estes organismos, alguns fatores são decisivos como:

- **Umidade** - é necessária como solvente e veículo para as reações enzimáticas. Entretanto, o excesso de água será desfavorável, devido a ausência de solubilidade de oxigênio. Segundo EATON; HALE (1993), somente teores de umidade acima de 20%, tornam a madeira susceptível ao ataque por fungos. Quanto ao excesso de umidade, os fungos de podridão mole, resistem bem a essas condições. Portanto, em certas utilizações da madeira, como torres industriais de resfriamento de água, e madeiras expostas em contato com outras fontes de água, estas são atacadas por estes fungos, além de bactérias lignolíticas. Em uma série de estudos sobre o efeito da temperatura e umidade relativa sobre o crescimento de fungos emboloradores em madeiras susceptíveis VIITANEN; RITSCHKOTT (1991) apud EATON; HALE (1993), notaram que o crescimento de tais fungos, é rápido nas condições de umidade relativa maior do que

95% e temperatura entre 20 e 40 °C, e nenhum crescimento foi observado, quando a umidade relativa caiu para 75% à uma temperatura de 20 °C.

- **Temperatura** - segundo OLIVEIRA (1986), temperaturas entre 5 e 65 °C, permitem o desenvolvimento desses microorganismos, sendo que poucos crescem acima de 35 ou 40 °C. EATON; HALE (1993), citam como temperaturas ótimas, para tais organismos, a faixa de 20-30 °C. NEWBILL; MORREL (1991), estudaram o efeito de temperaturas elevadas na sobrevivência de Basidiomicetos que colonizaram madeira em postes não tratados de Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*). Em seus resultados, estes autores encontraram que os fungos colonizadores do alburno foram mais sensíveis às temperaturas elevadas, do que aqueles que se desenvolveram no cerne desta madeira. Com relação as diferenças na temperatura de tolerância para as espécies de fungo colonizando alburno e cerne, nenhum dos fungos testados por estes autores, sobreviveram a 75 minutos de exposição a 65,6 °C. Este estudo também mostra que exposições às temperaturas mais baixas, por períodos de tempo consideravelmente maiores, também irão eliminar estes fungos.

- **Luz** - pode influenciar o desenvolvimento de corpos de frutificação, com alguns fungos podendo desenvolver pigmentos contra a radiação ultra violeta.

- **PH** - a madeira possui pH variando entre 4-6, com a condição ótima para as reações de decomposição ficando entre 4-4,5. Alguns fungos manchadores toleram um pH de até 9, sendo outros tolerantes a valores bem baixos, sendo chamados de acidófilos.

- **Oxigênio** - devido à baixa solubilidade do oxigênio na água, esta influencia as condições de aeração do substrato. Em condições de extrema umidade, os fungos manchadores e apodrecedores tem seu desenvolvimento inibido. A baixa aeração, explica também a grande durabilidade de madeiras não preservadas, utilizadas como estacas de fundações, abaixo do nível do lençol freático.

- **Extrativos** - a quantidade, e principalmente o tipo de extrativo, estão diretamente envolvidos com a maior ou menor facilidade, com que a madeira será decomposta.

- **Orientação da grã** - normalmente a infestação é maior na superfície transversal da madeira, com o ataque sendo preferencial na direção longitudinal, seguida pelas faces

tangenciais, onde os microrganismos penetram pelo raio, e por último é em menor preferência nas faces radiais.

- **Ambientais** - condições macro e micro-climáticas, a nível de temperatura e precipitação pluviométrica, e edáficas também influem na durabilidade das madeiras, pois condicionam a maior ou menor existência e agressividade da fauna e flora xilófagas.

Devido a estas condições, WEHR (1985), afirma que quando a madeira estiver em contato com o solo, a linha de afloramento será a região mais sujeita ao ataque de fungos, e considerada a região mais crítica, devido encontrar nesta região as condições ideais para o desenvolvimento de fungos. A figura 21 ilustra tal condição, segundo EATON; HALE (1993).

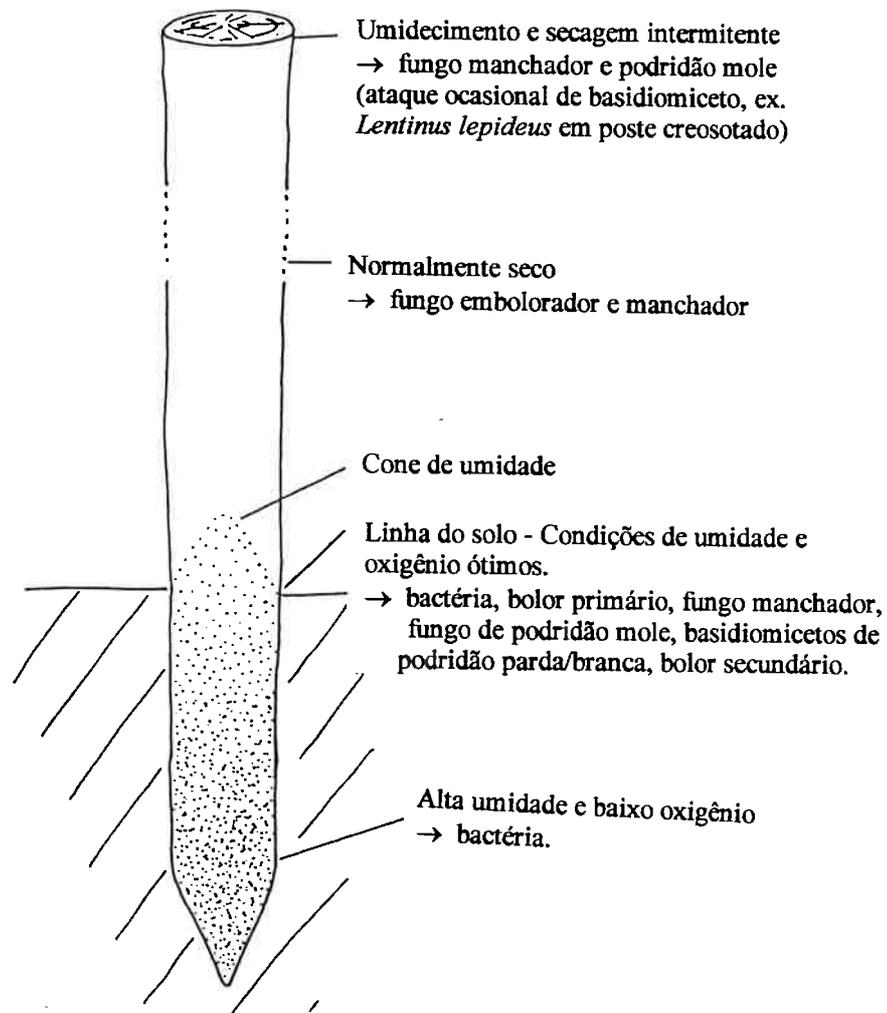


Figura 21 Deterioração microbiológica de um poste não tratado em contato com o solo. Fonte: EATON; HALE (1993).

Nas madeiras apodrecidas, segundo GALVÃO (1969), é comum encontrarem estruturas vulgarmente denominadas “orelhas de pau”, órgãos de frutificação de uma forma de vegetais inferiores, sem clorofila, que são os fungos. Estes fungos tem na madeira seu alimento. Órgãos de frutificação produzem grandes quantidades de minúsculas “sementes”, denominados esporos. SEABRIGHT (1995), afirma que quando ativos, os fungos Basidiomicetos (causadores da podridão branca e parda), produzem de 800 a 900 milhões desses esporos por hora. Levados pelo vento a grandes distâncias, por serem extremamente leves e nas condições favoráveis já citadas anteriormente, os esporos germinam, produzindo finíssimos filamentos denominados hifas, que penetram na madeira. Essas hifas formam o corpo vegetativo do fungo, ou o micélio.

O apodrecimento ocorre devido atuação de enzimas produzidas pelos fungos. SEABRIGHT (1995), afirma que as enzimas são produzidas a partir de vários biocatalizadores, onde cada um dessas substâncias desenvolvem funções específicas, com a aceleração ou controle das reações bioquímicas. Estes biocatalizadores, são macromoléculas de proteínas com estrutura supermolecular definida, contendo um centro ativo. A hifa secreta enzimas destruidoras de celulose, quebrando a estrutura cristalina por expansão intermolecular, e resultando na clivagem de algumas pontes de hidrogênio e de ligações covalentes. Várias outras enzimas, agem também sinergisticamente, quebrando e degradando a celulose não cristalina, em cadeias oligoméricas mais curtas e em unidades de celobiose, chegando finalmente a simples monômeros de glucose, que podem ser digeridos pela hifa. Daí, pode-se afirmar que a quebra enzimática, consiste basicamente na transformação dos componentes insolúveis da madeira, em produtos solúveis, e em seguida para compostos químicos simples, que são introduzidos no metabolismo do fungo. Para OLIVEIRA (1986), estes fungos colonizam profundamente a madeira e decompõem os tecidos lenhosos numa velocidade normalmente bastante alta. Os basidiomicetos, capazes de decompor a madeira são divididos em dois tipos: fungos de podridão parda e fungos de podridão branca que possuem características enzimáticas próprias, quanto a decomposição dos constituintes primários da madeira. Os primeiros decompõem apenas os polissacarídeos da parede celular, e os últimos, tanto os polissacarídeos quanto a lignina.

Segundo SANTOS (1992), a madeira sob ataque de fungos apresenta alterações da composição química, redução da resistência mecânica, diminuição de peso,

modificação da cor natural, aumento da permeabilidade, redução da capacidade de acústica, aumento da inflamabilidade, diminuição do poder calorífico e maior propensão ao ataque de certos insetos.

3.4.6.1.1. Desenvolvimento e Características de Ataque dos Principais Microorganismos que Colonizam a Madeira

- **Fungos emboloradores** - Macroscopicamente, a madeira embolorada, apresenta na superfície uma formação pulverulenta, de coloração variada, facilmente removível da camada superficial. Tal camada pulverulenta é destacada pela formação de uma massa de esporos coloridos na superfície da madeira. OLIVEIRA (1986), cita que os bolores são comuns em toras recém abatidas e em peças de madeira serrada, durante o período inicial da secagem. São encontrados ainda em madeiras mantidas em altos teores de umidades ou seca em ambientes com umidade relativa acima de 90%. Células de paredes finas, tais como àquelas do parênquima axial e radial, podem ser destruídas nos estágios mais avançados de desenvolvimento. À exceção da resistência ao impacto, que poderá ser reduzida, as demais propriedades mecânicas são pouco afetadas. A permeabilidade também aumenta significativamente, sendo consequência da destruição de membranas e torus das pontoações. Um aspecto importante em tais organismos, é a capacidade que algumas espécies tem de tolerar a altas concentrações de preservativos.

- **Fungos manchadores** - Mancham a madeira porque possuem hifas coloridas, ou produzem substâncias coloridas, que são lançadas no meio. Podem destruir membranas das pontoações, por ação mecânica ou podem penetrar nos espaços existentes ou abertos por bactérias. O dano físico causado ao substrato é pequeno, com exceção da resistência ao impacto, causando no entanto, problemas de natureza estética, reduzindo drasticamente o valor comercial da madeira. Estes fungos normalmente atacam toras recém abatidas de madeiras de coloração clara, como as espécies do gênero *Pinus*, e também de folhosas. Eles ocorrem também em peças de madeiras secas, submetidas a uma condição de reumidecimento. Normalmente, as suas hifas penetram profundamente na madeira, alimentando-se de substâncias de reservas, existentes nos lúmens das células. Como os fungos emboloradores, estes também toleram vários tipos de substâncias preservativas. Normalmente a infestação por fungos manchadores, sendo

a mancha azul a mais conhecida e importante, se dá nas primeiras horas após o abate da árvore. A figura 22, ilustra a madeira manchada nos aspectos macro e microscópico.

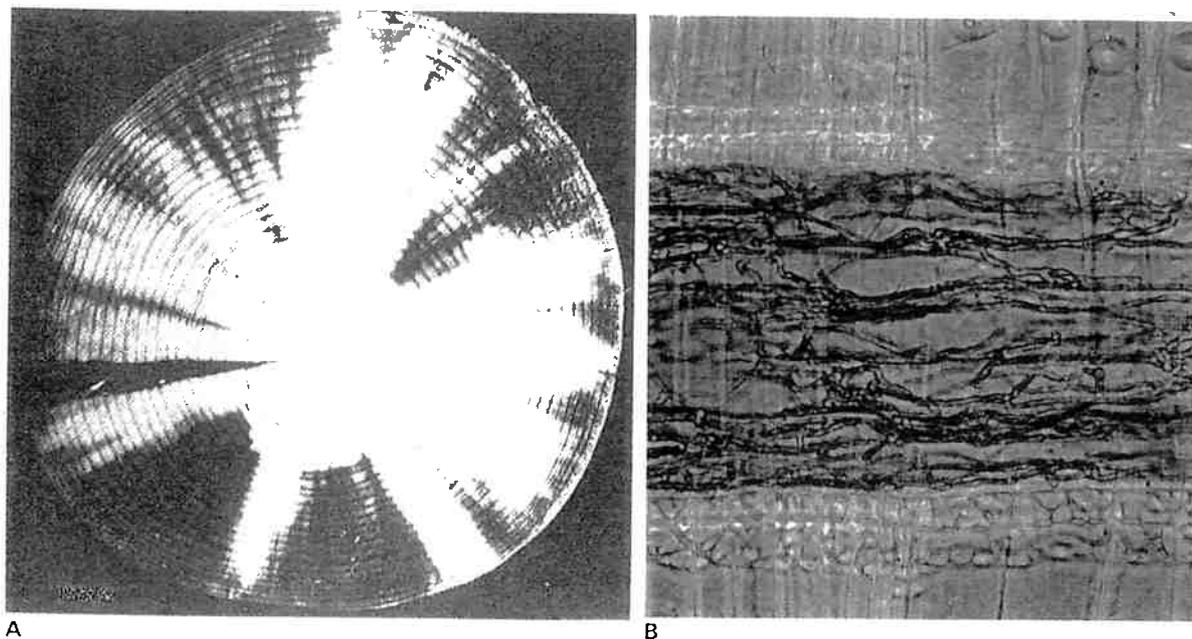


Figura 22 Madeira manchada. (A) Aspecto macroscópico de um disco de *Pinus sp* manchado; (B) aspecto microscópico, mostrando hifas pigmentadas colonizando células do raio. Fonte: OLIVEIRA et al. (1986).

Na figura 22, foto B, as hifas caminham em direção ao interior da madeira através do parênquima lenhoso, destacando o detalhe das células de traqueídeo do raio completamente intactas.

- **Bactérias** - O ataque de bactérias, segundo OLIVEIRA (1986), é comum em madeiras submersas por algumas semanas ou meses, ou ainda submetidas à condição de anaerobiose, como em estacas ou fundações. O fator mais importante para a instalação destes organismos, é o elevado teor de umidade. Segundo CAVALCANTE (1982), o ataque da madeira por estes organismos se dá de forma muito lenta, podendo levar anos para que alterações consideráveis possam ocorrer. Inicialmente, o ataque se restringe aos materiais de reservas das células radiais, dirigindo em seguida para o próprio raio, que em estágio mais avançado de ataque, pode atingir outros elementos anatômicos como fibras e traqueídeos. Tem-se também registrada a ocorrência bastante freqüente de ataque bacteriano, associado ao ataque por fungos, nas paredes celulares de peças de madeira, mantidas em contato com o solo.

Macroscopicamente, o ataque aparece como manchas pequenas, distribuídas ao acaso na superfície da madeira, podendo nos estágios avançados, ocorrer o amolecimento nestas áreas. Ainda é citado por OLIVEIRA (1986), que as bactérias são freqüentemente encontradas nas pontoações, existindo forte evidência de possuírem um sistema enzimático, capaz de destruir a membrana das pontoações. A literatura anteriormente citada, mostra evidências de que tais organismos são capazes de inativar preservativos. Um exemplo conhecido, é o da *Pseudomonas creosotensis*, que é capaz de detoxificar o creosoto em estacas marinhas, permitindo o ataque de moluscos e crustáceos xilófagos, em peças de madeira preservadas, expostas ao mar. Além do aumento na permeabilidade, a madeira atacada pode ter suas propriedades mecânicas reduzidas, principalmente a resistência a flexão. SCHMIDT; LIESE (1994), apresentam um artigo sobre a ocorrência e significado das bactérias na madeira. Estes autores abordam o isolamento de bactérias através dos vários tecidos lenhosos, sua ação nas pontoações e paredes celulares, exemplos de descoloração e perda de resistência da madeira, a degradação ocorrida em ambientes de solo e água e também da madeira tratada por preservativos, métodos de avaliação do apodrecimento, eficácia de preservativos, e também sua tendência na detoxificação de resíduos de madeira preservada e aspectos destes organismos como bioprotetores.

- **Fungos de podridão mole** - Esses fungos, segundo EATON; HALE (1993), ocorrem principalmente nas condições desfavoráveis aos outros organismos apodrecedores. Estas condições são: teores de umidade muito elevados e conseqüentemente baixa aeração, ou ainda fatores inibitórios tais como extrativos ou preservativos. São também favorecidos, segundo o mesmo autor, por fatores como temperaturas elevadas e alta concentração de nitrogênio solúvel.

Macroscopicamente a madeira atacada por estes fungos, apresenta uma camada superficial escurecida e amolecida quando úmida, sendo facilmente removível. A profundidade de ataque é normalmente superficial, podendo penetrar entretanto, por todo alburno da madeira. CAVALCANTE (1982), afirma que apesar do ataque desses organismos restringir a superfície da madeira, raramente ultrapassando a 20 mm de profundidade, a parte atacada poderá ser facilmente destacada, e portanto expondo novas regiões da madeira a ação dos fungos. A figura 23, ilustra uma peça de madeira atacada por fungo de podridão mole.

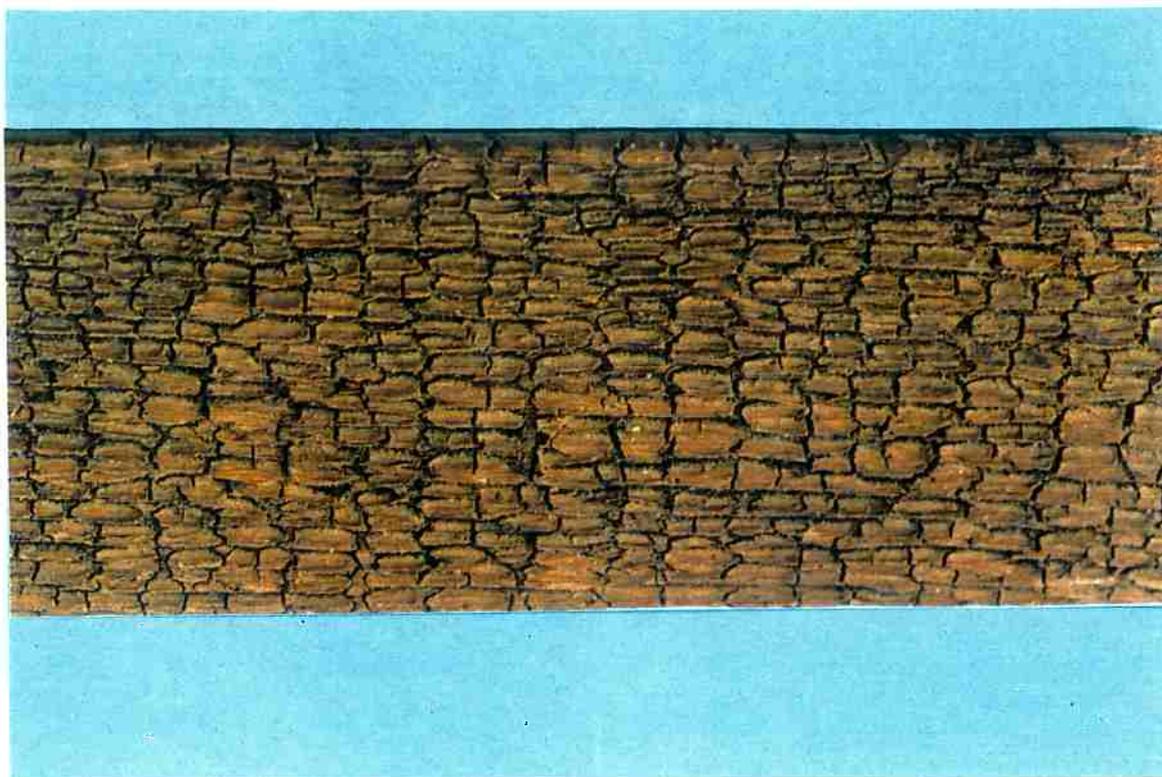


Figura 23 Superfície atacada por podridão mole em madeira de ipê (*Tabebuia sp.*). Notar as fissuras transversais pouco profundas.

A figura 23, deixa clara, a forma escamosa da madeira após o ataque. É importante também ressaltar que a madeira de ipê, apesar de ser altamente resistente às demais formas de apodrecimento e aos insetos em geral, pode ser atacada pelos fungos de podridão mole, principalmente naquelas condições totalmente adversas aos outros organismos xilófagos.

Estes organismos, que colonizam as células da madeira através do lume, passando de uma célula para outra através das pontoações, tem preferência inicialmente, pelas substâncias de reservas encontradas no alburno, mas a partir da ausência de tais substâncias, estes passam a se alimentar dos constituintes das paredes celulares, provocando assim a sua deterioração.

Segundo cita OLIVEIRA (1986), a madeira intensamente deteriorada, por estes organismos, apresenta marcante redução em todas as suas propriedades mecânicas, devido a destruição dos seus elementos estruturais. SEABRIGHT (1995), afirma que a perda de massa poderá ser superior a 70%, e que a celulose é reduzida em 36%, hemiceluloses em 19% e a lignina por volta de 8%. Tem sido observado, também, que as

coníferas, são mais resistentes a estes fungos que as folhosas. Além disto, várias espécies destes fungos são resistentes a altas concentrações de preservativos, especialmente os salinos, sendo que algumas são capazes de detoxificar preservativos. NELSON et al. (1995), estudaram a degradação de madeira arqueológica de 2700 anos de idade, por fungos de podridão mole. Neste estudo, os autores encontraram duas formas de ataque desses fungos em madeiras de folhosas, ou seja; o tipo cavidade e também a forma erosiva, ao passo que na madeira de coníferas somente um tipo de apodrecimento foi encontrado, na forma de cavidade. Estes autores também confirmam que a preferência destes fungos, por determinados constituintes químicos da madeira, foram dependentes tanto da espécie, como da própria constituição química dos componentes, principalmente do tipo de lignina existente. Foi verificado um grande ataque por estes fungos em lignina de madeiras de folhosas, o que foi detectado pela grande queda na taxa total de monômeros da lignina. Nas coníferas, a extensão de ataque é menor, em consequência da menor susceptibilidade de ataque das ligninas cujas unidades estruturais sejam compostas de guaiacyl, do que àquelas contendo unidades de seringyl.

- **Fungos de podridão parda** - Tais organismos se alimentam principalmente dos carboidratos da madeira, em que nos estágios avançados de deterioração, estas madeiras apresentam uma coloração parda escura. Estes se alimentam preferencialmente de celulose, a madeira atacada fica toda fissurada no sentido longitudinal e transversal, com a formação de placas, compostas basicamente pela estrutura compacta da lignina. KIM; NEWMAN (1995), utilizaram a técnica de espectroscopia de ressonância nuclear magnética (RNM), no estudo de blocos de madeira de *Pinus koraiensis* apodrecidos pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*, visando a quantificação do ataque dos constituintes químicos da madeira. Neste estudo, os autores afirmam que a perda de massa da amostra mais degradada foi de 32%; que foi detectado como sendo 23% para a celulose, 2% para a lignina e os 7% restantes para outras substâncias (hemiceluloses, resinas e outras). Eles concluem ainda que a perda de massa em lignina foi tão pequena, que poderia estar dentro do erro experimental. A figura 24, ilustra uma peça de madeira atacada por podridão parda. SEABRIGHT (1995), afirma que a podridão parda provoca quase 100% de perda de massa dos polissacarídeos e por volta de 8% na lignina, com a perda de massa total podendo estar próxima de 65%.



Figura 24 Madeira de *Guarea sp* severamente atacada por podridão parda.

Observa-se na figura 24, uma certa semelhança entre o ataque do fungo de podridão mole e o de podridão parda. A diferença está no tamanho das placas, maiores nesta última forma de ataque. Microscopicamente, CAVALCANTE (1982), afirma que a degradação celular da madeira não ocorre na direção lume-lamela média como a que ocorre na podridão branca, uma vez que a lignina residual mantém a estrutura da célula. A hifa do fungo, que se encontra no lume, secreta enzimas que difundem através da parede celular, destruindo os carboidratos. Quando a lignina residual não é capaz de sustentar a célula, irá então ocorrer colapso da parede celular.

As propriedades de resistência da madeira, são severamente prejudicadas por estes organismos, sendo a resistência ao impacto, afetada mais rapidamente. KIM et al. (1995), estudaram o efeito do apodrecimento provocado pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*, em peças de madeira de tamanho real; 50 X 100 mm de seção transversal e comprimento igual a 2,1 m, de alburno de *Pinus sp*. Estas amostras, após a inoculação com o fungo, foram cobertas com plástico de polietileno e incubadas em casa de vegetação a 32 °C e 85% de umidade relativa do ar. Antes porém, da inoculação com os

fungos, foi determinado o módulo de elasticidade, estimada a resistência a flexão e classificadas as peças de madeira. As avaliações do ensaio foram feitas após cinco semanas de exposição para um grupo de amostras, e a nove semanas para as amostras restantes. Após a avaliação da exposição, baseada no desenvolvimento micelar do fungo, fez-se o acondicionamento das amostras, para que pudessem ser ensaiadas a flexão estática, numa temperatura de 22 °C e 12% de teor de umidade. Neste ensaio, os pesquisadores concluíram que a podridão parda teve um efeito sobre a resistência média a flexão, da madeira de tamanho real (utilização), mesmo nos estágios iniciais do apodrecimento. Eles constataram que a rigidez entre grupos de exposição, foi significativamente inferior àquela das peças de controle. Concluíram ainda que o material de classe de resistência mais baixa, teve o módulo de ruptura (MOR) mais reduzido que aquele de maior classe de resistência. Por fim, os autores concluem através dos resultados do estudo, e de outros, que a resistência da madeira a flexão é reduzida significativamente já nos primeiros estágios do apodrecimento. Portanto, é recomendado que os membros de madeira submetidos a carga de flexão nas estruturas, especialmente aqueles que são periodicamente umedecidos, deverão ser inspecionados regularmente, para prevenir a ocorrência de falha abrupta, mesmo que ainda não exista sinais definidos de apodrecimento. AKANDE (1990), procurou estudar as falhas na madeira relacionadas a perda de massa por apodrecimento. Ele afirma em seu estudo, que os fungos de podridão parda são capazes de despolimerizar a celulose a velocidade mais rápida, do que irão metabolizar o produto desta degradação, nos estágios iniciais de desenvolvimento, o que poderia explicar a alta incidência de falhas transversais encontradas em apodrecimento causado pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*. Já os fungos de podridão mole, por sua vez, despolimeriza a celulose mais lentamente, com a utilização simultânea dos produtos da degradação. Portanto, este mesmo autor afirma que para podridão parda, valores de perda de massa superior a 2%, já provoca o aparecimento de fraturas na madeira, completamente diferenciadas daquelas encontradas na madeira sadia. EATON; HALE (1993), afirmam que tais organismos, tem uma tendência a produzir ácidos muito fortes, podendo diminuir o pH da madeira para 1,0, com alto poder corrosivo, além de detoxificar alguns preservativos.

- **Fungos de podridão branca** - Estes organismos se caracterizam por atacar preferencialmente a lignina, além de atacar também os outros componentes primários da

madeira. SEABRIGHT (1995), diz que a percentagem de perda de massa real da madeira degradada por estes fungos, parece estar ligada a perda de massa nos componentes químicos da lignina e hemiceluloses. Quanto a aparência da madeira atacada, esta fica esbranquiçada e com forma aciculada, caracterizada pela remoção da lignina, e permanência das cadeias lineares da celulose. A figura 25, ilustra a madeira atacada por estes organismos.



Figura 25 Madeira de angelim vermelho (*Hymenolobium sp*) severamente atacada por podridão branca. Notar a natureza fibrosa e esbranquiçada deste tipo de apodrecimento.

A figura 25, mostra a forma afilada do carboidrato remanescente, após a degradação de parte da lignina. Com respeito as alterações microscópicas conseqüentes do ataque, CAVALCANTE (1982), confirma a ocorrência de inúmeras mudanças na estrutura das células. Segundo este autor, a degradação da celulose da madeira atacada por fungo de podridão branca, inicia-se no lume e progride em direção a lamela média. Concomitantemente, poderá haver aumento no diâmetro das pontoações, fissuras radiais na parede celular, separação entre células na região da lamela média, perfurações na parede celular e o surgimento de pequenas cavidades romboidais na parede secundária.

Quanto às alterações nas propriedades de resistência, estas são aproximadas àquelas provocadas pelos fungos de podridão parda. AKANDE (1990), afirma que o ângulo microfibrilar da camada S2 da parede secundária, não controlou o plano de fratura das fibras em células apodrecidas, de *Populus tremuloides*. Em seu estudo, o autor também concluiu que as fraturas provocadas por fendas longitudinais ao longo das células de parênquima, foram freqüentemente notadas nas amostras apodrecidas por este tipo de fungo, e que estas foram iniciadas com perdas de massa inferiores àquelas exigidas para produzir a separação da lamela média.

Quanto aos riscos de ataques por fungos, DÉON (1989), considera que em uma construção bem projetada, nas quais as madeiras de treliças, os pisos, as madeiras de marcenaria interior (rodapés, batentes de portas) são abrigadas e no geral, aquelas que não correm riscos de serem reumidificadas, não serão ameaçadas pela podridão. Entretanto, é preciso não acreditar que todas as madeiras de marcenaria interior estão protegidas dos ataques de fungos. É necessário prestar atenção nos elementos susceptíveis de serem postos em serviço, em contato com alvenaria úmida ou de serem atingidos por águas de condensação (canalizações de água, debaixo de pias, em banheiros, aberturas para condicionadores de ar, e por toda a parte onde a umidade ambiente é elevada e a ventilação é reduzida).

3.4.6.2. Insetos

Os insetos pertencem à classe Insecta do filum Arthropoda. Segundo EATON; HALE (1993), esta classe é dividida em mais de trinta ordens, das quais somente cinco são importantes na deterioração de madeira. Por serem as ordens mais importantes economicamente, serão abordadas aqui somente a Isoptera e a Coleóptera.

-Isoptera - Um dos mais importantes grupos de organismos destruidores de materiais celulósicos, incluindo a madeira, são os térmitas ou cupins. Segundo EATON; HALE (1993), estes insetos, sociais, são encontrados em ampla faixa do ambiente terrestre, e são distribuídos pelas regiões mais quentes do mundo. CAVALCANTE (1982), diz que estes insetos vivem em colônias com as atividades distribuídas pelas castas. O autor afirma ainda que numa colônia típica, existem quatro castas: rainha, reprodutores, soldados e operários. A rainha tem a função de depositar ovos, os

reprodutores contribuem para a dispersão da espécie e para o estabelecimento de novas colônias, com os soldados tendo a função de defesa destas dos invasores, e os operários são os que constroem os ninhos, atacam a madeira e alimentam as outras castas. Contudo, CAVALCANTE (1982), afirma ainda que pode haver em alguns gêneros, a supressão de uma ou outra casta, quando as atividades são então desenvolvidas por aquelas existentes. Apesar de atacarem também árvores vivas, o maior dano que estes causam está na destruição de madeiras serradas das edificações. EATON; HALE (1993), considera a nível mundial, os custos de tratamento, para erradicação de infestações de térmitas, no ano de 1986, tem sido estimado como aproximadamente US\$1.920.000.000. YOSHIMURA et al. (1995), afirmam ser o térmita inferior *Coptotermes formosanus*, a praga mais destruidora para as construções de madeira no Japão. NOGUCHI et al. (1991), afirmam que neste país, o perigo dos térmitas, é comparável ao risco causado pelo fogo, nas construções de madeira durante todo ano.

A ordem isoptera contém mais de 2.000 espécies, distribuídas em sete famílias: Hodotermitidae, Kalotermitidae, Mastotermitidae, Rhinotermitidae, Serritermitidae, Termitidae e Termopsidae. Sendo quatro destas famílias com representantes no Brasil: Kalotermitidae, Rhinotermitidae, Termitidae e Serritermitidae.

Estes organismos são classificados em cupins de madeira seca, representados pela família Kalotermitidae, e aqueles subterrâneos, representados pelas demais famílias. Aqueles que atacam a madeira úmida, ou subterrâneos, fazem seus ninhos no solo, próximo a fonte de umidade, sendo portanto de difícil combate, uma vez que podem estar em qualquer ponto da edificação, ou nos arredores.

Os cupins de madeira seca, vivem exclusivamente dentro da madeira da qual se alimentam, formando colônias pouco populosas, com alguns milhares de indivíduos. A espécie *Cryptotermes brevis*, é a mais importante economicamente, encontrada no Brasil. Segundo DÉON (1989), mesmo formando colônias com relativamente poucos indivíduos, esses térmitas são ativos destruidores da madeira. Os sintomas de ataque, muito evidentes para um observador atento, são os excrementos acumulados, que formam montículos pulverulentos, cada grão desse pó apresentando a forma de um pequeno prisma hexagonal, muito facilmente reconhecível.

Pesquisadores brasileiros e de outras partes do mundo, tem-se preocupado com o problema dos cupins. Em um levantamento feito por LELIS (1994), no período de 1973

a 1993, num total de 240 edificações inspecionadas, na cidade de São Paulo, estima-se um prejuízo de US\$3.500.000. Conforme afirma o pesquisador, o dano real causado pelos térmitas, é ainda desconhecido. SERPA (1986), afirma serem os térmitas do gênero *Cryptotermes*, os destruidores das obras sacras, molduras de quadros, altares, e vigas, caibros e ripas, constituintes do madeiramento das coberturas das edificações da cidade histórica de Olinda, em Pernambuco.

Um certo número de trabalhos, estão diretamente relacionados aos ensaios de laboratório, onde a madeira a ser avaliada, é colocada em contato com tais insetos, sob condições controladas de temperatura e umidade relativa do ar, por determinado período de tempo. SANTOS (1982), testou em laboratório a susceptibilidade de 35 espécies de madeiras da Amazônia, ao ataque de *C. brevis*, concluindo: 5 foram susceptíveis, 9 resistentes e as 21 espécies restantes com níveis intermediários de resistência. CAÑEDO; LELIS (1985), também testaram em laboratório várias espécies de folhosas ao ataque de *C. brevis*, visando a indicação de espécies de madeira para a produção de cruzetas, em substituição à peroba rosa (*Aspidosperma polyneuron* - Apocynaceae).

Com respeito a madeira do gênero *Eucalyptus*, no Brasil pouco ou quase nada se conhece a respeito do comportamento real das espécies aqui introduzidas, em relação aos cupins. Sabe-se, por observações de peças em serviço, que algumas espécies são bastante susceptíveis a tais insetos. RUDMAN; GAY (1967), estudaram em laboratório a susceptibilidade da madeira do cerne e do alburno de *Eucalyptus marginata*, à duas espécies de cupins subterrâneos, da Austrália. Após 56 dias de exposição, verificou haver variações quanto ao grau de ataque nas diferentes posições a partir da medula para a casca. Observou ainda, serem as árvores mais jovens e provenientes de rápido crescimento, aquelas que apresentaram um melhor desempenho quanto a resistência ao ataque, em relação às árvores de maior idade, provenientes de povoamentos naturais.

- **Coleóptera** - Segundo EATON; HALE (1993), é a maior ordem de insetos, compreendendo mais de 40% dos insetos conhecidos, com cerca de 350.000 espécies descritas. Variam de tamanho, desde aqueles menores que 1 mm, até 200 mm de comprimento, podendo ser encontrados em todos os ambientes habitados por outros insetos.

Segundo OLIVEIRA (1986), várias famílias possuem espécies xilófagas, sendo as mais importantes às famílias Cerambycidae, Scolytidae, Platypodidae, Bostrychidae, Lyctidae e Anobiidae.

- **Cerambycidae** - É uma das grandes famílias desta ordem, com mais de 20.000 espécies descritas, pertencentes a 2.500 gêneros. Todas as espécies no estágio larval são essencialmente xilófagas, atacando árvores vivas, recém abatidas, madeira seca e troncos apodrecidos. O seu ciclo de vida pode variar de três meses a vários anos, e a oviposição é feita na superfície cortical mais ou menos áspera ou em incisões de galhos feitas pela própria fêmea, com auxílio das mandíbulas. Algumas espécies são capazes de digerir a celulose e hemiceluloses, ao passo que outras se alimentam predominantemente do conteúdo das células parenquimáticas.

Uma das espécies mais conhecidas é *Hylotrupes bajulus*, que tem causado enormes prejuízos em residências, principalmente na Europa, é também encontrada no Brasil. Pode atacar postes, moirões e madeiramento estrutural de edificações, principalmente de telhados. A fase larval, como na maioria das brocas, passa-se no interior da madeira, em que a peça atacada pode reduzir-se a pó, mantendo intacta apenas uma fina camada externa. A fase pupal com duração de duas a três semanas, é passada em uma câmara pupal, logo abaixo da superfície atacada. A duração total do ciclo de vida varia muito com as condições ambientais, podendo ser de um a quatro anos, com registros de até dezenove anos.

- **Bostrychidae e Lyctidae** - A família Bostrychidae conforme citado por OLIVEIRA (1986), tem aproximadamente 520 espécies descritas, das quais mais de 100 vivem na região neotropical. Seu comprimento varia de 1 mm a 3 cm. A família Lyctidae, tem cerca de 50 espécies, sendo 20 encontradas na região neotropical. Seu comprimento não ultrapassa poucos milímetros. A família Lyctidae, é considerada por alguns autores como uma subfamília de Bostrychidae.

As duas famílias são xilófagas, alimentando-se principalmente do amido contido no alburno de angiospermas. Os bostríquídeos infestam geralmente madeiras em processo de secagem. Embora consigam completar seu ciclo de vida em madeiras secas, não conseguem reinfestá-la. Tais espécies também podem ser encontradas atacando madeiras de estruturas de telhado, quando estas são utilizadas com a secagem incompleta.

Já as brocas da família Lyctidae atacam a madeira já seca, com teor de umidade entre 8 e 30%. As espécies mais comuns são *Lyctus brunneus* e *Minthea rugicollis*, ambas cosmopolitas. O seu ataque é facilmente reconhecido, pelo resíduo muito fino, semelhante a talco, que é expelido pelo orifício de emergência do adulto.

DÉON (1989), afirma que no caso do *Lyctus*, apenas as larvas, saída dos ovos, atacam a madeira, sendo que entre os bostríquídeos, a maior parte das espécies ataca a madeira, tanto sob a forma de larva, quanto no estado de inseto adulto.

A biologia de ambos os insetos mostra que os seus ataques, estão diretamente associados ao teor de amido existente no alburno da madeira. Portanto tais espécies só atacam o alburno, uma vez que no cerne da madeira, o teor de amido é praticamente inexistente.

Além do teor de amido, outro fator determinante para o ataque dos lictídeos na madeira, é o diâmetro dos vasos, uma vez que é neste local onde a fêmea deposita seus ovos.

- **Anobiidae** - A família tem segundo OLIVEIRA (1986), aproximadamente 1150 espécies descritas, das quais 350 na região neotropical. São besouros de pequeno tamanho, variando de 1 a 9 mm de comprimento, que apresentam hábitos alimentares variados, podendo atacar sementes e caules de várias plantas, produtos manufaturados de origem vegetal ou animal, ou ainda serem estritamente micetófagos, como *Caenocara*

As espécies xilófagas, atacam o alburno e o cerne tanto de coníferas como de folhosas, sendo capazes de digerir a celulose e as hemiceluloses.

A espécie mais estudada é o *Anobium punctatum*, que causa grandes prejuízos em países de clima temperado, principalmente na Europa. Tem aparente preferência por madeiras antigas, para o que não se obteve ainda uma explicação. Para os antiquários, todavia, a presença de alguns orifícios de emergência de *Anobium punctatum*, é garantia da antigüidade de uma peça de madeira.

No Brasil, o gênero *Tricorynus*, tem sido o mais freqüente, atacando madeiramento de residências, móveis, objetos de arte e livros.

Depois dos fungos apodrecedores, os insetos são os agentes xilófagos mais importantes, sob o aspecto econômico, em termos de deterioração da madeira. Quanto aos cupins, deve haver maior preocupação com aqueles que atacam a madeira seca, uma vez que os cupins subterrâneos, por necessitarem de umidade para sobreviver, tem suas

condições de ataque mais dificultadas. Aqueles que atacam a madeira seca, podem ser evitados por medidas projectuais, utilização de espécies de madeira de elevada durabilidade natural a tais organismos, ou em último lugar, a utilização de madeira preservada. Quanto aos demais insetos, também existem aqueles que só atacam a madeira com umidade, e aqueles que também atacam a madeira com baixos teores de umidade. Também neste caso há uma série de fatores a serem levados em consideração, como a própria anatomia da madeira, teor de amido, alburno e a durabilidade natural das madeiras. Também deve ser levada em consideração, tanto no caso dos fungos, como dos insetos, a área de ocorrência destes, pois cada tipo de organismo exige condições ambientais e edáficas próprias para seu pleno desenvolvimento, não bastando apenas a fonte de alimento ideal.

3.4.6.3. Xilófagos Marinhos

No ambiente marinho existem vários grupos de organismos que causam a biodeterioração, e destruição de estruturas de madeiras construídas nestes locais. Normalmente os xilófagos marinhos, são divididos em dois grupos representados pelos organismos incrustantes e aqueles perfuradores. Os primeiros somente se fixam nos substratos, nos estágios iniciais de desenvolvimento, permanecendo por toda vida. As cracas são os animais que ocorrem com maior frequência, com carapaças altamente calcificadas, aderindo aos cascos das embarcações, causando inúmeros problemas. O segundo grupo dos xilófagos marinhos, não somente se fixam na madeira, mas também perfuram e algumas vezes se alimentam desta.

Conforme citado por OLIVEIRA (1986), a maioria dos perfuradores penetra no substrato apenas para proteção, mas aqueles pertencentes à subfamília Xylophaginae (família Pholadidae, Moluscos), e as famílias Teredinidae (Moluscos), Limnoriidae e Sphaeromatidae (Crustáceos) utilizam esta perfuração como fonte de nutrientes. Estes perfuradores, juntamente com outros da família Pholadidae que não utilizam a madeira como alimento, são os mais importantes organismos envolvidos na deterioração de madeira no mar.

- **Crustáceos** - Em regiões temperadas e subtropicais o gênero *Limnoria*, é o mais agressivo. Nas nossas condições, destaca-se o *Sphaeroma*. O *Limnoria*, é um

crustáceo de tamanho pequeno, de comprimento até 3 mm e largura de 1 mm. A limnoria, é o único crustáceo que ataca a madeira preservada com creosoto.

- **Moluscos** - Existem dois grupos importantes, em termos de intensidade de ataque, que são os Foladideos e os Tereidinideos. Para os dois grupos, a forma de infestação é a larva, que poderá servir de alimento para outros animais, caso não infestem a madeira.

Os foladideos, representado principalmente pelo gênero *Martesia*, são organismos pequenos, de até 4 cm, que utilizam a madeira apenas como substrato, podendo portanto ser encontrados em outros materiais, sendo problema mesmo em madeira preservada.

Os tereidinídeos, representados principalmente pelo gênero *Teredo*, são organismos compridos, podendo atingir até 2 m, e utilizam tanto o plancton quanto a madeira como alimento. Esta família, é a mais importante economicamente, entre as demais famílias de moluscos.

Os xilófagos marinhos, constituem um grupo a parte, pois atuam em condições de uso particulares, também devem ser levados em consideração, quando se utilizam estruturas de madeiras em tais condições. Normalmente madeiras com elevados teores de sílica, são mais resistentes, existindo também espécies naturalmente resistentes a tais organismos. Quanto a utilização de madeira preservada, normalmente se faz o tratamento com dois tipos de preservativos, um oleoso e outro hidrossolúvel, e com retenção bem superior, aquela destinada a utilização convencional.

3.4.7. Preservação da Madeira

A preservação da madeira é um conjunto de métodos e técnicas utilizados para prolongar a vida útil da madeira, nas mais diversas condições de serviço. A preservação não visa apenas a proteção contra os agentes biológicos, mas também àqueles físicos e químicos. Em se tratando da utilização das florestas plantadas, de rápido crescimento, principalmente a partir das coníferas e alguns eucaliptos, a preservação da madeira tem um papel importantíssimo no desenvolvimento e na consolidação desta nova alternativa florestal. Quanto às espécies nativas da floresta tropical, esta dependência não é acentuada, uma vez que existe um elevado número de espécies naturalmente duráveis.

Portanto, antes da abordagem da preservação propriamente, é importante comentar a respeito da durabilidade natural das madeiras.

3.4.7.1. Durabilidade Natural

Não existe nenhuma dúvida que tal propriedade é a mais importante, na caracterização da madeira como material de construção. Madeiras de elevada durabilidade, podem ser consideradas nobres, com grande aceitação tanto no mercado interno quanto externo, além de possibilitar a sua utilização para os mais variados fins.

Segundo RUDMAN (1960), a palavra durabilidade envolve um número de propriedades distintas da madeira, que são a resistência ao ataque biológico, químico e físico. A resistência biológica inclui a resistência a fungos (apodrecimento), insetos (cupins ou brocas), e a perfuradores marinhos. A resistência química diz respeito a ácidos e álcalis, entre outros. A resistência física diz respeito a abrasão, e normalmente incluindo aí a resistência ao “weathering”, palavra que pode ser traduzida, como a ação de agentes ambientais e ou climáticos como o vento, chuva, e alternância entre umedecimento e secagem, além de radiações. Pelo fato dos agentes biológicos manifestarem de forma muito mais intensiva que os demais, a estes será dada maior ênfase.

A durabilidade natural é determinada através de ensaio acelerado de laboratório, como àquele sugerido pela norma ASTM D2017-81. Neste ensaio, pequenas amostras de madeira são colocadas em contato com culturas puras de fungos apodrecedores, e através da perda de massa, é determinada a maior ou menor susceptibilidade ao ataque. Como método mais efetivo na determinação desta propriedade, devem ser adotados os ensaios de campo. Nestes a confiabilidade é maior, pois as condições são mais semelhantes aquelas reais de serviço, ou seja existe todo aquele efeito sinérgico, caracterizado numa sucessão ecológica de ataque.

No Brasil, existem algumas instituições que fazem estudos de avaliação desta propriedade, e CARDIAS (1985), fez uma compilação destes dados para 247 espécies de madeiras tropicais. Em seu trabalho, apesar de incluir somente aproximadamente cinco por cento das espécies brasileiras, foi observado um amplo espectro de durabilidade, com algumas espécies apresentando um alto grau de resistência, nas mais diferentes condições

de ataque e organismos. GRACE et al. (1996), enfatizam a utilização de madeiras naturalmente duráveis na indústria e construção civil, por representarem alternativas ao uso de inseticidas de solo e preservativos de madeira na proteção tanto de árvores, quanto de madeiras susceptíveis aos insetos xilófagos. Também, tem sido sugerido que os extrativos das madeiras naturalmente duráveis, poderiam ser aplicados naquelas susceptíveis, ou utilizados como modelos de síntese para novos preservativos de madeira.

Para WEHR (1985), as madeiras provenientes de reflorestamentos e de rápido crescimento, apresentam baixa durabilidade natural. Para a madeira de *Pinus spp* usada em contato com o solo, existem relatos, tanto no Brasil como nos Estados Unidos, de que a sua durabilidade natural é baixa, variando de 6 a 43 meses. Esta variação é devido às diferenças na agressividade do local, atribuída principalmente às características climáticas e edáficas. Em caso onde a madeira irá entrar em contato com o solo, a degradação e deterioração é muito mais intensa, devido às condições favoráveis ao desenvolvimento de microorganismos, principalmente os fungos.

Em madeiras na forma de toras, ou processadas, o mecanismo de defesa natural mais estudado é constituído pelos extrativos fenólicos, os quais, geralmente, são eficazes contra o apodrecimento da madeira. Estes compostos químicos, são formados durante a transformação do alburno em cerne. Segundo HILLIS (1971), os extrativos são constituintes não estruturais ou secundários das plantas. Estes geralmente podem ser removidos com solventes neutros, embora algumas vezes, álcalis diluídos sejam necessários. Segundo o autor, um grande número de compostos tem sido identificados nos extrativos, em espécies de árvores diferentes, que representam muitas classes de compostos orgânicos. Os compostos polifenólicos, não incluindo a lignina, são os componentes mais comuns, existindo portanto muitas subdivisões nesta classe. Existem ainda outros, como os tropolones, gorduras, resinas, carboidratos, terpenos entre outros.

Tais compostos de natureza fungicida e ou inseticida, apesar de serem encontrados no cerne das árvores, ainda possuem uma variação quanto a maior ou menor efetividade no sentido radial e ao longo do tronco. ANDERSON et al. (1963), estudaram a distribuição dos extrativos solúveis em água, no lenho de *Sequoia sempervirens*. Neste estudo, foi mostrado que nesta espécie, existem concentrações mais baixas de extrativos no cerne central, em relação àquele mais externo, afetando

também a resistência ao apodrecimento. Notou-se também menor resistência ao apodrecimento na parte superior do tronco, em relação à inferior. Tal fato também ocorre em árvores da floresta tropical, sendo comum encontrar árvore com a parte central do tronco toda deteriorada.

WANG et al. (1980), desenvolveram procedimento para avaliação do efeito dos extrativos do cerne sobre a resistência ao apodrecimento. Neste trabalho, amostras de cerne da espécie *Maclura pomifera*, foram transformadas em serragem, e os extrativos foram obtidos por solventes como hexano, álcool-benzeno, metanol e água. Tanto a madeira extraída, quanto o extrato foram submetidos a duas culturas puras de fungos apodrecedores, a fim de avaliar que frações extratáveis fossem responsáveis pela resistência da espécie aqueles fungos apodrecedores. SCHULTZ et al. (1995), reexaminaram o papel que os extrativos, particularmente oxyresveratrol (estilbeno), desempenha na durabilidade do cerne desta espécie. Estes autores, analisaram os extrativos do cerne e fizeram a determinação da atividade fúngica de compostos isolados e dos extrativos totais em metanol. Antes porém, eles revisaram dados sobre as madeiras de *Robinia pseudoacacia* (black locust) e *Morus rubra* (mulberry), ambas folhosas da América de Norte e também de excepcional durabilidade natural. Entre suas principais conclusões, SCHULTZ et al. (1995), afirmam que a alta durabilidade do cerne de *Maclura pomifera* (osage orange), parece ser conferida por grandes quantidades de oxyresveratrol e dihidromorin, presente em aproximadamente 40 Kg/m³. A excepcional durabilidade das outras duas espécies citadas, poderá, segundo estes autores, também ser devido a mecanismos semelhantes, ou seja elevada quantidade de um ou dois compostos monoméricos e pequenas de outros compostos. Em trabalho mais completo, DÉON et al. (1980), também estudaram a influência dos extrativos naturais da madeira sobre a resistência ao apodrecimento. Eles estudaram a influência dos extrativos de seis espécies de madeiras tropicais, ao ataque de quatro espécies de fungos apodrecedores, sendo dois de podridão branca e dois de podridão parda. Em seu trabalho, foi feita a extração da serragem das espécies, de forma sucessiva, em ordem crescente de polaridade dos solventes. Os solventes utilizados foram hexano, éter, diclorometano, acetona, metanol e água. Neste trabalho, fez-se para cada espécie, o isolamento e identificação dos compostos de características fungistáticas.

KAMDEM (1994), estudou o apodrecimento em blocos de *Populus tremuloides* (aspen); folhosa americana de baixa durabilidade natural, impregnados com extrativos solúveis em metanol, retirados do cerne de *Robinia pseudoacacia* (black locust), *Maclura pomifera* (osage orange), *Sequoia sempervirens* (red wood) e *Instsia bijuga*. Este autor, concluiu que os extratos em metanol de algumas madeiras duráveis são tóxicos a alguns organismos xilófagos, e que para o seu estudo, o fungo de podridão parda *Gloeophyllum trabeum*, foi mais tolerante que o fungo de podridão branca *Pleurotus ostreatus*. No seu estudo, este autor cita que a nível de retenção inferior a 2%, os blocos de madeira de aspen, tratados com extratos de madeira durável exibiram uma perda de massa de 25%. A 10% de retenção, a perda de massa nestes blocos de madeira foi de aproximadamente 5% para podridão parda e insignificante para o fungo de podridão branca. Verificou-se portanto, que os extratos em metanol, do cerne de *Instsia bijuga*, seguidos por *Maclura pomifera* e *Robinia pseudoacacia*, foram os mais efetivos. GARCIA; RAMIREZ (1992), também retiraram extrativos das madeiras de *Juglans sp*, *Cordia eleagnoides*, *Hura polyandra* e *Enterolobium cyclocarpum*, sendo todas folhosas mexicanas. Estes foram extraídos com quatro solventes e aplicados sobre serragem da madeira de *Spondias mombin*; susceptível a degradação, para serem avaliadas as atividades fungicidas. Neste estudo, a serragem foi submetida ao fungo de podridão parda *Lentinus lepideus* e aquele causador da podridão branca, *Laetiporus sulphureus*. De uma forma geral, estes autores observaram melhores resultados para os extrativos solúveis em acetona e etanol, das madeiras de *Cordia eleagnoides* e *Juglans sp*, verificando também notáveis resultados inibitórios nos extratos aquosos de *Enterolobium cyclocarpum* e de *Juglans sp*.

Quanto a madeira de eucalipto, RUDMAN; GAY (1967), determinaram a resistência natural desta ao ataque de cupins. Trabalhando com árvores adultas de *Eucalyptus marginata*, proveniente de florestas naturais e de reflorestamento, a madeira foi submetida ao ataque de cupins subterrâneos das espécies, *Coptotermes lacteus* e *Nasutitermes exitiosus*. Em seus resultados, verificaram uma marcada variação da resistência no sentido radial, para as duas espécies, que foi decorrente da variação da quantidade de extrativos na mesma direção. Também em seu trabalho, o autor verificou uma maior porcentagem de madeira resistente em árvores de rápido crescimento, em relação àquelas de lento crescimento e mesmas dimensões. REIS (1973), estudou a

variação na resistência ao apodrecimento em quatro espécies de madeiras do sudeste do Brasil, dentre elas a madeira de *Eucalyptus citriodora*, proveniente de uma árvore de 17 anos de idade, crescendo em um povoamento de quatro hectares. Nesse estudo, o alburno revelou-se não resistente, e as madeiras do cerne interno, médio e externo, além daquelas do topo e da base do tronco revelaram-se como variando de altamente resistente à resistente às duas espécies de fungos apodrecedores utilizadas. Neste estudo verificou correlação negativa entre o teor de nitrogênio e resistência ao apodrecimento, no alburno, dentre e entre as quatro espécies de madeiras. SANTOS (1992), avaliou a durabilidade natural da madeira de *Eucalyptus grandis*, com idade variando de 2 a 9 anos. Nesse trabalho, foi feito um mapeamento na direção medula-casca, de tal madeira, quanto a resistência ao apodrecimento a três espécies de fungos apodrecedores, associados à solubilidade em água quente.

Como visto, é sabido que a resistência natural da madeira está diretamente associada, ao teor e qualidade de seus extrativos. Quanto à madeira proveniente de reflorestamento, sabe-se que a madeira de coníferas, principalmente àquelas do gênero *Pinus*, crescendo no Brasil, apresenta uma durabilidade natural muito baixa. A madeira do gênero *Eucalyptus*, devido a um número muito elevado de espécies, impossibilita uma afirmação simplista com relação a esta propriedade. Sabe-se que a quantidade de extrativos varia muito entre espécies, e mesmo naquelas espécies de menor durabilidade natural, ainda são superiores às coníferas. Daí há necessidade de maiores estudos, no sentido de seleção de espécies mais duráveis, uma vez que até o momento, tal propriedade não era interessante, sendo mesmo nociva, para os propósitos a que eram utilizadas estas madeiras.

3.4.7.2. Preservativos de Madeira

De acordo com LEPAGE (1986), um produto químico para ser usado como preservativo de madeira, deve satisfazer a uma série de requisitos, relacionados a seguir:

a) - **Eficiência** - é o principal requisito de todo o preservativo. Devendo portanto apresentar toxidez a uma gama mais ampla possível de organismos xilófagos.

b) - **Segurança** - deve apresentar baixa toxidez em relação aos seres humanos e animais domésticos, além de não aumentar as características de combustibilidade e da flamabilidade inerentes à madeira.

c) - **Corrosão** - as soluções preservativas não devem ser corrosivas a metais.

d) - **Fixação ou resistência à lixiviação** - deve ser insolúvel em água ou formar complexos insolúveis por meio de reações químicas com os componentes da madeira.

f) - **Manter características** - não devem alterar as propriedades físicas e mecânicas da madeira.

g) - **Custo** - é sem dúvida o fator que viabiliza o uso de um produto que apresente todas as potencialidades anteriormente mencionadas.

h) - **outras características** - dependente de particularidades de uso da madeira.

Os preservativos de madeira podem ser classificados em duas categorias básicas, que são os oleosos e os hidrossolúveis. Os primeiros podem ser considerados os oleosos propriamente ditos, e àqueles cujo o óleo é apenas o solvente para o preservativo. Tais preservativos são aplicados a quente, e não reagem com a madeira, ficando apenas depositado em seu interior. Já os hidrossolúveis, são aqueles que utilizam a água como veículo de transporte até o interior da madeira. São aplicados a frio e caracterizam por reagir com os componentes da madeira, apresentando portanto alta estabilidade quando fixados.

3.4.7.2.1. Preservativos Oleosos

Existem muitos produtos nesta categoria, devendo entretanto ser abordados somente aqueles mais utilizados no Brasil.

- **Creosoto** - É considerado o mais antigo preservativo de madeiras. É definido como um produto destilado do alcatrão, procedente da carbonização da hulha betuminosa, a alta temperatura, compondo principalmente de hidrocarbonetos aromáticos, sólidos e líquidos, contendo quantidades apreciáveis de ácidos e bases de alcatrão. A AWWPA (Associação Americana de Preservadores de Madeira), estabelece como mínimos os limites de 200-325 °C para o destilado de alcatrão que constitui o creosoto. Estes caracterizam por uma cor escura, odor pronunciado e viscosidade

elevada a temperatura ambiente. Por ser composto de mais de uma centena de compostos (aproximadamente 160, descritos até o momento), tem se mostrado um dos mais eficazes preservativos da madeira, recomendado em situações de alta incidência de ataque de organismos xilófagos, tanto em contato com o solo, com na água.

Quanto as retenções em Kg/m^3 , para as diversas situações de uso, são mostradas no quadro 11, segundo a Associação Americana de Preservadores de Madeira (AWPA), citado por CAVALCANTE (1984).

QUADRO 11 - RETENÇÃO DE CREOSOTO DE ACORDO COM AS CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO

Condição de Uso	Retenção em Kg/m^3
Exterior, em contato como o solo	100-125
Exterior, fora de contato com o solo, em condições úmidas	60-80
Exterior, fora do contato com o solo, em condições secas	60
Torres de resfriamento	160-200

FONTE: AWWPA apud CAVALCANTE (1984)

Quanto às vantagens LEPAGE (1986), enumera as seguintes:

- Além da preservação, tal preservativo fornece proteção extra contra alterações de umidade, tornando a madeira estável e mais resistente ao fendilhamento.
- Além de não ser condutor de eletricidade, reduz a corrosão e o desgaste mecânico, devido a efeito lubrificante na madeira.
- São inseticidas e fungicidas muito estáveis, tendo uma duração muito longa, sendo notavelmente resistentes às perdas tanto por lixiviação, quanto por evaporação.
- O produto poderá ser facilmente fortificado, pela adição de outros componentes tais como o pentaclorofenol, naftenato de cobre, arsênio, enxofre, entre outros, o que poderá melhorar o seu desempenho para aplicações especiais.
- Custo relativamente baixo, se as unidades de preservação são localizadas próximo de siderúrgicas onde o produto é vendido.
- Produto biodegradável.

Apesar das vantagens citadas, e ser sem dúvida um dos produtos mais eficientes para a preservação da madeira, o creosoto também apresenta algumas desvantagens tais como:

- Tratamento relativamente sujo, ou seja a madeira fica escura e de aspecto desagradável, não podendo ser pintada com facilidade.
- Odor acentuado, não sendo recomendado para aplicações onde haja contato humano, devido a problemas de exudação, que afetariam a saúde, produzindo alergias ou irritações na pele.
- Devido a sua elevada viscosidade, só pode ser aplicado com eficiência em tratamentos industriais, sendo exceção o processo do banho quente-frio.
- Possuir tolerância por alguns organismos xilófagos, como o fungo *Lentinus lepideus*, o crustáceo *Limnoria tripunctata*, e cupins do gênero *Coptotermes*.

- **Pentaclorofenol** - Tanto o pentaclorofenol como o seu sal sódico, o pentaclorofenato de sódio, é um produto que devido a sua elevada toxidez a mamíferos, e causar danos ao meio ambiente, está caindo em desuso em muitos países. HIGHLEY et al. (1994), afirmam que até o ano de 1970, este foi essencialmente o único produto químico usado para proteger a madeira verde contra organismos emboloradores, manchadores e também proteger madeira exposta ao apodrecimento acima do solo.

Conhecido como pó da China, apesar de ser fabricado também na França, o produto chinês é mais tóxico devido processos de fabricação menos elaborado. A maior periculosidade do produto chinês, se deve a maior quantidade de dioxinas existente, substância esta considerada mutagênica.

O pentaclorofenol (PCF), é obtido pela reação entre o fenol e o cloro, até a completa substituição de todos os átomos de hidrogênio, pelos de cloro. É um produto solúvel em solventes orgânicos, apresentando excelente ação fungicida e uma boa ação inseticida.

Segundo LEPAGE (1986), mais recentemente, com o recrudescimento das campanhas de natureza ecológica, o pentaclorofenol e seu sal sódico sofreram um duro golpe, de forma a comprometer a utilização futura desses compostos como preservativos de madeira. No Brasil, hoje praticamente o pentaclorofenol não é mais usado, mas

somente o seu sal hidrossolúvel, sozinho ou em formulações, na prevenção de fungos manchadores em madeira recém abatida ou recém desdobradas.

- **Soluções de Naftenatos** - Os ácidos naftênicos, como cita LEPAGE (1986), são obtidos como subprodutos da refinação de certos tipos de petróleo. Naftenato de cobre, é recomendado em retenções da ordem de 1 Kg/m³ para madeira em contato com o solo. GRACE et al. (1993), estudaram o efeito de naftenato de cobre impregnado em *Pinus spp*, contra o ataque do cupim subterrâneo *Coptotermes formosanus*, da família Rhinotermitidae, no Hawai. Eles concluíram que a perda de massa nessa madeira, a retenções de aproximadamente 1,6 a 2,5 Kg/m³, não excedeu a 4%. Este preservativo já possui eficiência comprovada, segundo estes autores, como fungicida, sendo de interesse no tratamento de postes utilitários naquele país, devido suas características ambientais favoráveis e baixa condutividade. Já o naftenato de zinco, é considerado um excelente termiticida, sendo empregado em algumas formulações do tipo WRP (preservativo repelente de água). A principal limitação de tais produtos, se deve aos custos elevados.

- **Soluções de Óxido de Estanho Tributílico - TBTO** - Essas formulações vem sendo utilizadas no tratamento de madeiras fora do contato com o solo, especialmente em esquadrias.

Apresentam marcante ação fungicida, bactericida e também é muito utilizado na prevenção de ataque por perfuradores marinhos. Apresentam como vantagens adicionais a baixa toxidez a mamíferos e compatibilidade com acabamentos. Entretanto, são compostos de elevado custo, o que tem limitado a sua utilização.

- **Quinolinolato de Cobre-8** - Segundo LEPAGE (1986), é um quelato quadridentado, sendo introduzido no país há pouco tempo. Utiliza-se como solventes derivados voláteis como aguarrás, sendo utilizado em concentrações variando de 2,5 a 5%.

É um produto inodoro e incolor, não interferindo com a pintura posterior da madeira com ele tratada. É talvez o único preservativo aprovado pela administração de alimentos e drogas dos Estados Unidos da América, para o tratamento de material que entre em contato direto com alimentos.

Utilizado também em madeiras de revestimento de câmaras frigoríficas, em têxteis, papeis e plásticos. Sua grande limitação, é ser um produto caro, sendo portanto utilizado apenas para finalidades mais nobres.

Segundo BARNES (1993), novos sistemas oleossolúveis tem aparecido, dentre os quais se destacam: isotiazolonas, tiazol, carbamatos e o triazol.

3.4.7.2.2. Preservativos Hidrossolúveis

Devido a dificuldades na obtenção do petróleo, e restrições de natureza ambiental e de segurança, os preservativos hidrossolúveis vem, a cada ano, encontrando maior receptividade de uso na indústria da preservação de madeiras.

Normalmente tais preservativos contêm mais de uma substância química em sua formulação, composta por diversos sais minerais como os de cromo, cobre, arsênio, boro e flúor, solúveis em água. Estes preservativos, de ação fungicida e inseticida, reagem com os constituintes primários da parede celular, formando complexos altamente estáveis. A seguir serão descritas as formulações dos hidrossolúveis mais conhecidos e utilizados no Brasil, dando ênfase principalmente ao CCA - Arseniato de Cobre Cromatado, que é de longe o mais utilizado por nossas usinas de preservação de madeira.

- **CCA - Arseniato de Cobre Cromatado** - É uma mistura de sais de cromo, cobre e arsênio, solúveis em água. É empregado em várias formulações, cada qual variando a porcentagem de cobre, cromo e arsênio. O cromo provoca a precipitação de grande quantidade dos demais componentes, quando o preservativo é introduzido na madeira. As suas formulações são os preservativos mais confiáveis para propósitos gerais, geralmente fornecendo excelente proteção contra todos os tipos de deterioração por fungos e brocas da madeira. SCHMIDT; LIESE (1994), entretanto, afirmam a existência de problemas sérios devido a degradação bacteriana e podridão mole, relatados para postes de *Pinus radiata* tratados com CCA, e postes de *Eucalyptus maculata* e madeiras de torres de resfriamento. Eles afirmam que estacas de *P. radiata*, tratadas com dupla carga deste preservativo, ainda foram degradadas.

Quanto à retenção do ingrediente ativo, em Kg/m³, para as diversas situações de uso de acordo com a AWPÁ é mostrada no quadro 12, segundo CAVALCANTE(1984).

QUADRO 12 - RETENÇÕES PARA O PRESERVATIVO CCA

Condição de Utilização	Retenção em Kg/m³
Externo, em contato com o solo	6,5-8
Exterior, fora de contato com o solo, e condições úmidas	6
Exterior, fora de contato com o solo, e condições secas	6
Torres de resfriamento	10-16

FONTE: AWPA apud CAVALCANTE (1984)

As principais vantagens do CCA, podem ser citadas, conforme LEPAGE (1986):

- Disponível no comércio em várias formulações, permitindo uma maior racionalidade de utilização, em função do risco específico de determinado agente xilófago.

- Possui em sua formulação um elemento fungicida que é o cobre, e outro inseticida representado pelo arsênio.

- São muito eficientes na proteção da madeira em contato com o solo e em condições mais desfavoráveis, como em ambiente marinho.

- Apresenta grande vantagem de ordem econômica, sendo disponível em forma de pós ou pastas, para serem dissolvidas na água antes do emprego.

- Possui excelente fixação dos seus componentes na madeira, principalmente em se tratando de madeira de coníferas.

Entretanto, apesar das vantagens citadas, o número de desvantagens de tais produtos é bastante grande, como enfatiza LEPAGE (1986) e RICHARDSON (1978):

- Devido não alterar a higroscopicidade da madeira, para àquelas de cerne impermeável e baixa durabilidade natural, o fendilhamento do alburno tratável poderá expor o cerne não tratável, comprometendo a durabilidade como um todo.

- Para o tratamento de algumas folhosas, mesmo em altas retenções pode haver uma deficiente microdistribuição dos componentes tóxicos, não protegendo a parede celular, embora o preservativo esteja presente em grandes quantidades nos lúmens das células.

- A rápida fixação, permanece um problema, o que limita o preservativo, se este é utilizado para tratar espécies relativamente impermeáveis.

- Perigo de envenenamento por arsênio, componente altamente tóxico a seres humanos e animais, sendo um dos motivos de tal preservativo ser banido de alguns países.

- Produz a perda da resistência mecânica da madeira tratada, sobretudo a tenacidade.

- Devido a rápida fixação, não é recomendado para processos caseiros, onde o tempo de tratamento é longo.

- Quando em contato com o cimento, tem sua toxidez a fungos de podridão mole reduzida.

- Altera a cor natural da madeira, deixando esta com aspecto verde-acinzentada.

- Não é biodegradável, havendo problema com a destruição de resíduos do produto e da madeira preservada.

- **ACA - Arseniato de Cobre Amoniacal** - Segundo LEPAGE (1986), o preservativo consiste basicamente em uma mistura de sais de cobre e arsênio, numa solução fortemente amoniacal. O hidróxido de amônio entra na formulação para abrir a estrutura da parede celular, evitar a corrosão do ferro pelo cobre, e retardar a formação do precipitado de arseniato de cobre que é resistente a lixiviação.

Para o uso fora de contato com o solo, a retenção recomendada é de aproximadamente 5 Kg/m³. Dados a respeito do preservativo aplicado em madeiras em contato com o solo, revelam ser bastante resistente a fungos e insetos. Foi bastante usado na década de 50. Devido a sua alcalinidade, a madeira tratada deve apresentar alguma perda de resistência, devido ao ataque químico às hemiceluloses.

- **CCB - Borato de Cobre Cromatado** - É praticamente o segundo preservativo hidrossolúvel mais usado no Brasil. Surgiu na tentativa de substituição do arsênio pelo boro, em formulações do tipo CCA. Deve ser recomendado em situações de uso, onde se queira dar somente uma proteção fungicida, uma vez que o elemento boro, não desempenha bem o papel de inseticida.

- **Compostos de Boro** - Existem inúmeras formulações, destinadas ao tratamento de madeiras verdes, por processos não industriais, como imersão, pincelamento ou

aspersão, que contém boro na composição. Tais formulações baseiam no princípio da elevada difusão destes compostos para o interior da madeira. São recomendados para tratamento de madeira a serem utilizadas fora do contato com o solo, e protegida das intempéries. TOYOSHIMA et al. (1995), estudaram os efeitos de compostos de boro, como ácido bórico, tetraborato de sódio decahidratado e octaborato de sódio tetrahidratado impregnando madeira de *Cryptomeria japonica*, e sendo submetida ao ataque de térmitas *Coptotermes formosanus*. Neste estudo, os autores constataram a maior eficiência do ácido bórico na preservação da madeira contra os térmitas. Eles afirmam através dos resultados, que o ácido bórico ingerido por esses insetos, principalmente na retenção de 20 Kg/m³, fica mantido em seus corpos por um longo período de tempo, causando assim, interferência gradual (deterioração) da função fisiológica devido a ação lenta da toxidez deste composto

3.4.7.2.3. Ignífugos, Protetores de Superfície e Outros

O principal objetivo da aplicação dos ignífugos na madeira, está na reorientação da pirólise, visando gerar principalmente uma maior liberação de voláteis não inflamáveis e uma maior quantidade de carvão.

Os principais tipos de retardantes de chama são:

- **Impregnantes inorgânicos** - exemplificados por sais de zinco (ZnCl), sais de amônio (NH₄)₂ SO₄; produtos a base de boro como o ácido bórico, e a base de silicatos como silicatos de sódio. Tais compostos são lixiviáveis, exigindo portanto concentrações e retenções elevadas com 24 a 48 Kg/m³ para coníferas e 10 a 40 Kg/m³ para folhosas.

- **Impregnantes orgânicos** - Não são lixiviáveis, e consistem basicamente de resinas que são polimerizáveis no substrato. Tem como desvantagem, o custo bastante elevado. Como exemplo tem-se a aminoformaldeído.

- **Tintas e revestimentos** - Nesse grupo tem-se as tintas ou revestimentos selantes, que atuam isolando termicamente a madeira, evitando a saída de gases inflamáveis e o contato com o oxigênio do ar. Existem ainda os produtos intumescentes, os quais sob a ação do calor, formam uma espuma que envolve a madeira. Basicamente, existem três grupos de produtos intumescentes: - os sais inorgânicos, - compostos orgânicos de nitrogênio e - hidrocarbonetos não resinosos.

Outras classes de produtos protetores para madeira, visam proteger principalmente a degradação abiótica, chamada de “weathering”, termo referente a um efeito sinérgico da incidência de radiações, principalmente a ultravioleta, com ações da umidade, temperatura, poluição do ar, abrasão, entre outros. Todo processo começa com a degradação da lignina, que começa a acidificar o meio (formação de ácidos), que irão atacar os carboidratos. Tal processo é lento, sendo o principal problema de ordem estética, uma vez que a superfície da madeira torna-se escurecida. HON (1994), estudou os efeitos da luz ultravioleta e de chuva ácida na degradação da superfície de madeira de *Pinus sp.* Quando as superfícies desta madeira foram expostas a luz ultravioleta, o teor de grupos carbonílicos aumentou e o de lignina diminuiu simultaneamente. Essas alterações foram aceleradas, quando a madeira foi exposta a uma solução diluída de ácido sulfúrico, simulando chuva ácida em laboratório. Os resultados experimentais deste pesquisador mostraram que a luz ultravioleta alterou a qualidade da superfície pela geração de produtos oxidativos, e o ácido sulfúrico contribuiu para a deterioração da resistência a tração.

Existem dois grupos de produtos utilizados para proteção contra o “weathering” que são:

- Produtos que formam película na superfície da madeira, representados pelas tintas, vernizes, lacas e resinas.
- Produtos que penetram na superfície, sem formar películas. São os chamados WR (repelentes de água), WRP (repelente de água com preservativo), e os Stains. Estes últimos, são uma evolução dos primeiros, que podem conter um fungicida, um inseticida ou ainda um protetor solar, além de pigmentos. O custo varia de acordo com tipo de proteção que se quer dar a madeira.

BARNES (1993), menciona que a adição de repelentes de água, melhora o desempenho da madeira frente à lixiviação e ao intemperismo. EVANS et al. (1992), estudaram a degradação abiótica e proteção das superfícies de madeira, afirmando que o pré-tratamento desta com trióxido de cromo (CrO_3), mostrou efeito retardante na deterioração de stain a base de óleo ou látex, em madeira de Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) e red cedar (*Thuja plicata*), em teste de “weathering” natural após trinta meses de exposição. Aplicações de soluções aquosas de trióxido de cromo na madeira, reduz os defeitos na parede celular causados por irradiação ultravioleta, e a erosão da

superfície causada por “weathering” artificial acelerado. A perda de massa em lâminas, após trinta e cinco dias de “weathering” natural, segundo estes autores citados anteriormente, foi de 5%, contra os valores extremamente elevados de 27%, que ocorreram nos controles.

Para que um preservativo seja eficiente no tratamento da madeira, três requisitos são essenciais, ou seja a sua retenção, penetração e a distribuição. A retenção diz respeito a quantidade de princípio ativo do preservativo que penetrou na madeira, normalmente sendo expresso em termos de Kg/m³. A penetração diz respeito a profundidade máxima que o produto, alcança dentro da madeira. Mais importante do que a penetração, é a própria distribuição do produto no interior da madeira, que deverá ser a mais homogênea possível.

3.4.7.3. Processos de Tratamentos

Os processos de tratamento das madeiras podem ser divididos em dois grupos bem distintos a saber: Processos sem pressão e aqueles com pressão ou industriais.

3.4.7.3.1. Processos Sem Pressão

Nesta categoria incluem os métodos nos quais não há pressão externa aplicada para forçar a penetração do preservativo na madeira. Estes métodos são pincelamento, aspersão, imersão rápida ou prolongada, banho quente-frio, substituição de seiva (transpiração radial) e o processo Boucherie.

Segundo LEPAGE et al. (1986), tais métodos são baseados nos seguintes princípios:

- **Difusão** - Fenômeno que ocorre devido a uma diferença de potencial químico entre a solução preservativa e àquela existente no interior da madeira (seiva), ocorrendo portanto somente na madeira verde.

- **Capilaridade** - Um líquido sobe num tubo capilar (poros da madeira), quando molha as paredes do tubo, devido a uma forte força de adesão entre o líquido e a parede.

- **Absorção térmica** - Um diferencial térmico induz, como pode ser inferido pela lei dos gases perfeitos, uma redução de pressão interna do ar da madeira, que é responsável pela absorção do preservativo.

Os métodos de pincelamento, imersão rápida e aspersão são utilizados para o tratamento de tábuas, após o desdobro, principalmente para evitar infestação por fungos manchadores. Nos métodos de imersão, o importante para um tratamento ser bem sucedido, está na concentração do produto. Esta deverá ser alta, o suficiente para uma maior retenção possível de produto. PAES (1991), avaliou a tratabilidade da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de *Eucalyptus viminalis*, por meio do processo de difusão por imersão prolongada e substituição de seiva por transpiração radial. Com relação ao processo de difusão, este exigiu tempo e concentração mais elevada do produto preservativo CCB, quando comparado ao de substituição de seiva.

O método do banho quente-frio, consiste em colocar a madeira em contato com o preservativo quente, sempre utilizando um preservativo oleoso, normalmente o creosoto puro ou diluído em óleo. O tempo de duração do banho quente é de aproximadamente duas horas. A partir daí, a madeira é transferida para o banho frio, ou seja um tanque contendo o preservativo a temperatura ambiente, que deverá ficar por um tempo mínimo de quatro horas. É um método empregado para pequena produção, e não se tem nenhum controle sobre o processo. Indicado para pequenos postes e moirões de cerca.

O método da substituição de seiva é empregado para madeira verde, onde ao sair por capilaridade, a água contida na madeira, deixa o lugar para uma solução de preservativo hidrossolúvel. O processo consiste em colocar a madeira recém abatida, disposta verticalmente com a base submersa em um recipiente contendo a solução preservativa. O produto mais indicado é o CCB - Borato de Cobre Cromatado, devido a sua fixação mais lenta na madeira. O tempo de tratamento demora de 5-10 dias, recomendando-se a utilização de soluções de baixas concentrações, ou seja entre 0,5 e 1,0%. PAES (1991), em seu estudo concluiu, que o tempo de tratamento poderá ser reduzido com o aumento da concentração da solução preservativa.

Os processos de tratamento da madeira sem pressão, são basicamente paleativos, por não haver praticamente nenhum controle sobre os diferentes métodos. No entanto, se conduzidos de maneira adequada, pode-se ter um aumento considerável na vida útil da

madeira. Muitas vezes, madeira para postes, dormentes, cais, pontes, marcenaria de edificações, decks, cercas e moirões, necessitam tratamento no local de serviço, para controle de apodrecimento. Normalmente, os dois tipos de tratamento no local utilizados são aqueles de superfície e fumigação. Os tratamentos no local de uso, consistem de vários compostos preservativos líquidos, ou do tipo pastoso. A efetividade do tratamento irá depender, segundo HIGHLEY et al. (1994), da aplicação, espécie de madeira e teor de umidade na época de tratamento. Estes autores, afirmam que a madeira úmida absorve menos preservativo do que a seca, durante o tratamento por pincelamento ou spray. Os compostos químicos que migram como gás, são chamados de fumigantes, sendo úteis para eliminação de apodrecimento profundo na madeira. Os autores anteriormente citados, afirmam que estes são aplicados na forma sólida ou líquida, em furos feitos na madeira, volatilizando então um gás tóxico que movimenta através da madeira, eliminando apodrecimento e insetos. Dos muitos fumigantes avaliados, HIGHLEY et al. (1994) dizem que o Cloropicrin apresentou maior mobilidade na madeira, persistindo por maior período de teste. Eles citam como de bom desempenho o Sódio Methan, e também o Basamid.

3.4.7.3.2. Processos Industriais ou de Pressão

Os processos de impregnação com pressões superiores a atmosférica são, sem dúvida os mais eficientes, em razão da retenção, penetração e distribuição adequadas dos preservativos utilizadas. Nestes processos há um controle total das operações, o que resulta em garantia de uma proteção efetiva, com economia de produtos. Em contrapartida, tais processos apresentam algumas desvantagens, como o custo do equipamento, manutenção e mão de obra especializada, além do transporte da madeira até uma usina de preservação de madeira. A maior parte dos processos com pressão utilizam madeira com teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras, menor que 30%.

Dois processos destacam, um sendo chamado de célula cheia e outro célula vazia, que serão descritos abaixo:

- **Célula cheia** - É, segundo LEPAGE et al. (1986), o primeiro processo a pressão, que foi desenvolvido por John Bethell, na Inglaterra, e patenteado em 1838. É

constituído essencialmente pelas seguintes fases, de acordo com os autores anteriormente mencionados:

a) Carregamento - a madeira seca é colocada na autoclave de tratamento, seguido pelo fechamento da porta.

b) Vácuo inicial - é feito um vácuo inicial de 600-630 mm de Hg, durante um tempo que varia de 30-60 minutos, dependente da permeabilidade da madeira. A função desse vácuo, é extrair parte do ar das camadas superficiais da madeira, com o objetivo de facilitar a entrada do preservativo para o interior da madeira.

c) Admissão do preservativo - A admissão do preservativo quente para o caso dos oleosos (80-100 °C), e frio para os hidrossolúveis, é feita aproveitando-se o vácuo existente no interior da autoclave. Tal operação, pode ser completada, caso necessário, com o auxílio de uma bomba de transferência.

d) Período de pressão - em seguida liga-se o compressor, e aplica-se uma pressão máxima da ordem de 1,2 MPa. O tempo de pressão, é função da permeabilidade da madeira que está sendo preservada.

e) Descarga do preservativo - é feita pela diferença de pressão existente entre a autoclave e o tanque reservatório.

f) Vácuo final - a finalidade desse vácuo de curta duração, é a eliminação do excesso de preservativo, sobre a superfície da madeira, diminuindo assim o desperdício.

É o processo mais utilizado no Brasil, utilizando principalmente preservativos hidrossolúveis. Neste processo, tanto as paredes celulares, quanto os lúmens das células ficam cheios de solução preservativa.

- **Célula vazia** - No processo de célula vazia, conforme cita LEPAGE et al. (1986), não se faz o vácuo inicial, de forma que o preservativo é injetado na madeira sem a retirada do ar de seu interior. Como consequência, ocorre uma compressão do ar dentro da madeira durante o período de impregnação e, quando esta é interrompida, esse ar se expande e expulsa parte do preservativo. Tem-se a vantagem de conseguir uma boa penetração, sem muito consumo de preservativo.

É mais utilizado para aplicação do creosoto, havendo uma melhor penetração deste preservativo. Uma desvantagem deste processo, é que a solução excedente, após o vácuo final, fica desbalanceada, devendo portanto serem feitas correções periódicas de balanceamento do preservativo.

Existem determinadas espécies de madeiras, como àquelas do gênero *Eucalyptus*, que possuem o cerne totalmente impermeável. Em tais madeiras não se consegue impregnar o cerne, mas somente o alburno, mesmo que se utilizem métodos industriais ou de pressão. A dificuldade de impregnação de tais madeiras, está diretamente associada à sua estrutura anatômica. A ocorrência de tiloses, obstruindo os elementos de vasos; constituintes anatômicos que exercem influência decisiva na penetração e distribuição dos preservativos, e principalmente a presença de pontoações de diâmetros muito pequenos, são os principais fatores que tornam estas madeiras praticamente impermeáveis às soluções preservativas. Para tais madeiras, estudos deverão ser feitos, considerando o processo de difusão, devendo ser utilizadas soluções contendo baixas concentrações do preservativo. COOKSON; DOUGAL (1997), avaliaram a eficiência de um tratamento superficial utilizando um preservativo com um solvente orgânico leve, aplicado na madeira de cerne em *Eucalyptus regnans*, altamente susceptível aos organismos xilófagos, ao ataque de um fungo causador de podridão branca. Segundo estes autores, o teste de penetração do preservativo, mostrou ser esta muito pequena no sentido transversal das tábuas de *E. regnans*. Eles concluíram portanto, que soluções preservativas à base de pentaclorofenol (PCF) e óxido tributílico (TBTO), utilizadas com solventes orgânicos leves (álcool naquele estudo), com penetração lateral variando de apenas 0,5 a 1,0 mm, foram suficientes para prevenir o apodrecimento de amostras de cerne, pelo fungo de podridão branca *Perenniporia tephropora*, quando comparadas com amostras de controle no bioensaio fúngico. Ainda segundo estes mesmos autores, enquanto nos corpos-de-prova provenientes de tábuas tratadas, a perda variou de 0 a 0,8%, nos controles esta foi em média de 8,1%.

3.4.7.4. O Conceito de Classes de Risco

A questão ambiental está diretamente ligada a preservação da madeira. Segundo BARNES (1993), esta tem um aspecto positivo, pois o seu emprego melhora o desempenho da madeira em serviço, diminuindo portanto a pressão sobre as florestas.

Por outro lado, o uso de produtos químicos tóxicos, com efeitos negativos sobre os ecossistemas, faz com que a questão ambiental exija do setor algumas considerações como:

- o desenvolvimento de novas formulações e técnicas de tratamento, que sejam ambientalmente mais adequadas;
- a utilização mais intensiva de madeiras naturalmente duráveis; e
- o uso de sistemas construtivos que exponham menos a madeira a ação de agentes destruidores, como aqueles preconizados na norma DIN 68.800, citada por SCHULZE (1989).

WILLEITNER (1994), está convencido que o futuro da preservação de madeira é dependente de fatores tais como o perigo de possível ataque à madeira, combinado a um certo grau de risco de ocorrência desse ataque, fator este que é dependente das características do material, referentes a durabilidade. Também o tempo de duração que se propõe para o material, deve ser considerado, no estabelecimento de programas de proteção. De acordo com o autor, anteriormente citado, a análise dos parâmetros mencionados, proporcionarão maior racionalidade no uso dos preservativos de madeira, contribuindo para a redução do impacto ambiental causado por estes agentes.

O Comitê Europeu de Normalização, através da norma EN 351-1, procura associar às diversas classes de perigo, com a ocorrência dos agentes biológicos; conforme mostra o quadro 13.

Tais classes de perigo, representam as diferentes situações de serviço que a madeira e derivados poderão ser expostas, indicando os agentes biológicos relevantes a cada situação.

A EN 335-1:1992, define as seguintes classes de perigo:

- **Classe 1** - Situação em que a madeira ou produto a base de madeira está coberta, completamente protegida e não exposta ao umedecimento.
- **Classe 2** - Situação em que a madeira está coberta e completamente protegida do tempo, mas onde alta umidade do ar, pode levar ao umedecimento ocasional, porém não persistente.
- **Classe 3** - Situação em que a madeira não está coberta mas fora do contato com o solo. Podendo estar continuamente exposta ao tempo, ou protegida, mas sujeita ao umedecimento freqüente.
- **Classe 4** - Situação em que a madeira está em contato com o solo ou água doce, e assim permanentemente exposta ao umedecimento.

- **Classe 5** - Situação em que a madeira ou produto a base de madeira está permanentemente exposta a água salgada.

No quadro 14, são comparados vários sistemas de classificação de risco, adotados em regiões distintas, segundo WILLEITNER (1994).

QUADRO 13 - OCORRÊNCIA DE AGENTES BIOLÓGICOS NAS CLASSES DE PERIGO - SEGUNDO EN 335-1 : 1992

Classes de Perigo	Situação de serviço geral	Exposição ao umedecimento em serviço	Ocorrência de agentes biológicos			
			Fungos	Brocas*	Térmitas	Brocas marinhas
1	acima do solo, coberta (seco)	nenhuma	-	U	L	-
2	acima do solo, coberta (risco umedecimento)	ocasionalmente	U	U	L	-
3	acima do solo, não coberta	freqüentemente	U	U	L	-
4	contato com solo ou água doce	permanentemente	U	U	L	-
5	água salgada	permanentemente	U	U	L	U

U = Universalmente presente na Europa.
L = Localmente presente na Europa.
* Risco de ataque insignificante de acordo com situações específicas de serviço.

FONTE: BS EN 335-1/1992

QUADRO 14 - COMPARAÇÃO DOS VÁRIOS SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO DE RISCO EM DETERIORAÇÃO DA MADEIRA

Classe Descrição	Estados Unidos	Nova Zelândia	Europa	Países Nórdicos
	Classe Descrição	Classe Descrição	Classe Descrição	Classe Descrição
H1 interior fora do meio externo meio interno sem umidade	H1 completamente protegida	1 acima do solo com cobertura (seco)	-	-
H2 sob cobertura, o meio externo podendo ser exposto ao completo "weathering"	H2* insetos perfuradores térmitas, apodrecimento	2 acima do solo com cobertura (risco de umedecimento)	-	-
H3 exposta ao "weathering" fora de contato com solo	H3 exposta ao "weathering" fora do contato com solo	3 acima do solo sem cobertura	B* AB*	externo fora de contato com solo
H4 em contato com o solo ou água doce baixo potencial de apodrecimento	H4 em contato com o solo ou água doce	4 em contato com o solo ou água doce	A	externo em contato com o solo
H5* idem acima, mas alto potencial de apodrecimento	H5 perigo extremo de podrecimento, uso final crítico	5 em água salgada	M	ambiente marinho
H6* exposta a água do mar e salobra	H6 ambiente marinho		B* AB AB ou B	ex. janelas, portas ex. revestimento podem também ser usados para madeira de interior no caso de risco grande de ataque
* subdividida em 3 subcategorias cada	* fora de uso na Nova Zelândia			

Fontes: 1 - Categorias de uso dos Estados Unidos de acordo com Preston, Dilbeck e Webb (1992)
2 - Classes de perigo para Nova Zelândia e outros países do Pacífico Sul de acordo com Hedley (1990)
3 - Classes de perigo para a Europa de acordo com a EN 335-1 (1992)
4 - Classes de preservação de acordo com a Norma Nórdica INSTA 140 (1989)
apud WILLEITNER (1994)

Para a avaliação de determinado risco, vários fatores são importantes, como mostra o quadro 15, segundo WILLEITNER (1994).

QUADRO 15 - FATORES IMPORTANTES PARA AVALIAÇÃO DO RISCO

Fator	Critério	Possibilidades
condições locais	probabilidade de ataque	baixa a muito alta
exposição do componente	tipo de exposição ao ambiente	limitado a extremo
importância	conseqüência de falha	negligível a ruim
manutenção	esforço para substituição/reparo	fácil a difícil

FONTE: WILLEITNER (1994)

O fator condições locais permite considerar as diferenças geográficas, topográficas e climáticas. Na região costeira americana, há um maior risco de ataque de fungos, com menor risco de ataque de insetos na região norte, em relação às mediterrâneas. MORREL; SCHNEIDER (1995), estudando a incidência de apodrecimento acima da linha de afloramento (1,5; 3,0 e 4,5 m), em postes de Douglas-fir, no Noroeste do Pacífico americano, englobando as regiões dos estados de Oregon e Washington, encontraram diferenças quanto ao grau de ataque nas diferentes regiões, com o predomínio de maior apodrecimento nos postes localizados nas regiões costeiras dos dois estados. Quanto à exposição do componente de madeira, deve-se levar em consideração a sua direção (vertical/horizontal), bem como a orientação (ex. sudoeste/nordeste). Existe também distinção de risco, se a madeira está diretamente exposta ao tempo, ou se fica na sombra de uma edificação. O fator importância está indiretamente ligado ao risco, referindo-se ao grau de responsabilidade de uma fratura ou colapso (ex. treliça de telhado/elemento de revestimento). A manutenção também está diretamente ligada ao risco, no que diz respeito à maior ou menor facilidade de reparo ou substituição de componentes. Tais substituições podem também envolver custos elevados. É também importante considerar, a vida em serviço da peça de madeira, pois em casos onde esta é utilizada por pouco tempo, mesmo sendo de baixa durabilidade natural, e utilizada em situação de risco, não haverá necessidade de nenhuma medida protetora.

3.4.7.4.1. Aspectos de Proteção Relacionados às Construções de Madeira

Uma vez definidas as classes de perigo, risco ou categorias de uso, é possível racionalizar ainda mais a utilização da madeira, sem necessidade extrema de produtos preservantes. BENEVENTE (1994), defende a importância da elaboração de projetos adequados para garantir maior durabilidade nas construções de madeira.

A atenção a ser dada ao projeto, é justificada em dados do quadro 16, onde é apresentada a influência deste fator no desempenho final da obra.

Observa-se no quadro 16, que o material contribui com uma média de 15-20% em termos de justificativa da perda de qualidade da obra acabada. Entretanto, a necessidade de um maior rigor nas fases de projeto e execução de construções de madeira, é fundamental para o desempenho futuro de tais edificações. HIGHLEY et al. (1994), consideram importante medidas que visam a exclusão da umidade para prevenir o apodrecimento. Eles afirmam que modificações estruturais simples podem colaborar para isto, tais como o prolongamento de telhados (beiral), o uso de barreiras de vapor, selantes e repelentes de água. O perigo de apodrecimento de estruturas de casas de madeira foi avaliado por SCHEFFER; MOSES (1993), através da medição do teor de umidade de mil casas, distribuídas em sete áreas climáticas dos Estados Unidos. Os pesquisadores afirmam que no geral, o risco de apodrecimento devido a umidade nos componentes de madeira das casas, parece ser pequeno, especialmente para os itens da subestrutura, espaços abaixo do assoalho, porões e sobre lajes, que não são expostos ao tempo. Tal afirmação é provada pelo grande número de casas que permaneceram em serviço naquele país, por muitas décadas.

QUADRO 16 - RELAÇÃO EM DIFERENTES PAÍSES DA PORCENTAGEM DE RESPONSABILIDADE PELA QUALIDADE OU POR FALHAS APRESENTADAS NA OBRA ACABADA

País/Etapa	Bélgica	GB	Alemanha	Dinamarca	Brasil	Média
Projeto	46 - 49	49	37	36	45	40 - 45
Execução	15	11	14	25	25	25 - 30
Material	22	29	30	22	20	15 - 20
Uso	8 - 9	10	11	9	10	10

FONTE: MESSEGUER (1983) e BASTOS, M.J. (1992) apud BENEVENTE (1994)

Ainda segundo SCHEFFER; MOSES (1993), algumas precauções simples, para proteger a subestrutura de madeira são recomendadas, com algumas incluídas nos códigos das edificações. Estas medidas incluem tratamentos preservativos de algumas partes da edificação, a utilização de membrana restritiva a umidade sob lajes de fundações e sobre solos úmidos nos espaços abaixo do assoalho, boa ventilação entre outras. A frequência de teores de umidade de 20 a 30%, tende a ser maior em paredes externas, protegidas por beirais de telhados medindo de 0 a 20 cm, do que naqueles de 45 cm. Daí, os autores afirmarem ser o beiral do telhado o mais importante fator de projeto, determinante na quantidade de umidecimento por chuva em paredes externas. Embora os níveis de umidade observados em estruturas suportantes de cargas não foram altos, estes pesquisadores recomendam que estas sejam tratadas sob pressão, exceto em climas secos, onde o risco de apodrecimento é pequeno. BENEVENTE (1994), ainda mostra no quadro 17, quando é necessária a preservação com produtos químicos.

QUADRO 17 - AS QUATRO CATEGORIAS DISTINTAS DA NECESSIDADE DE SE PRESERVAR A MADEIRA

<p>1. A preservação é considerada essencial quando:</p>	<p>1. o elemento de madeira fica exposto continuamente a riscos do meio ambiente e não pode ser protegido através de medidas projectuais.</p> <p>2. os órgãos regulamentadores da construção exigirem o tratamento.</p> <p>3. a experiência mostra um alto risco de avaria em elementos estruturais importantes o qual, pode constituir-se em sério perigo à vida ou a propriedade.</p>
<p>2. A preservação é considerada desejável quando:</p>	<p>1. a experiência tem mostrado que existe um alto risco de avaria por falhas de projeto ou de execução.</p> <p>2. existe risco de deterioração, se ocorrer, será difícil e onerosa a recuperação da peça.</p>
<p>3. A preservação é considerada opcional quando:</p>	<p>existir pequeno risco de ataque ou onde medidas corretivas ou troca das peças é simples. Nesta situação o custo da preservação inicial pode ser considerado como um seguro adicional contra reparos subsequentes, mais custosos.</p>
<p>4. A preservação é considerada desnecessária quando:</p>	<p>as condições de uso são tais que não colocam os elementos de madeira em risco.</p>

FONTE: Adaptado do texto de TAYLOR, 1974 apud BENEVENTE (1994)

É importante observar que o quadro 17, leva em consideração os riscos de possível ataque, não mencionando o perigo, que está diretamente associado a ocorrência dos agentes xilófagos.

Os conceitos de classes de riscos, durabilidade natural e medidas projectuais, são extremamente importantes. A utilização dos produtos químicos tradicionais, já foi banida em muitos países desenvolvidos, devendo portanto ser pesquisados novos biocidas que não sejam tão tóxicos a seres humanos e animais, e que sejam ambientalmente amigáveis. Uma tendência, é a síntese de novos preservativos, a partir dos próprios extrativos naturais, encontrados numa ampla variedade de espécies da floresta tropical.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, utilizou-se madeira proveniente de árvores adultas (aproximadamente 16 anos de idade) de sete espécies de eucaliptos: *Eucalyptus citriodora* Hook., *Eucalyptus tereticornis* Sm., *Eucalyptus paniculata* Sm., *Eucalyptus pilularis* Sm., *Eucalyptus cloeziana* F. Muell., *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. e *Eucalyptus grandis* Hill. ex Maiden. Estas árvores resultaram de cultivo feito na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi-SP, do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP. Quanto à caracterização dos aspectos geográficos, topográficos, edáficos e climáticos desta estação, estes são, segundo FERREIRA et al. (1993), os seguintes:

- latitude: 22°47' S;
- longitude: 48°09' W;
- altitude: 500m;
- relevo: plano a suavemente ondulado;
- solo: podzólico, arenoso e profundo;
- clima: Cwa, com verões quentes e chuvosos e invernos moderadamente frios e secos. A ocorrência de geadas é rara. Período de chuva se estende de outubro a março, com período seco de abril a setembro. A passagem de um período para outro se dá abruptamente.
- temperatura média anual: 21,0 °C;
- temperatura média do mês mais frio: 17,1 °C;
- temperatura média do mês mais quente: 23,7 °C;
- precipitação média anual: 1.350 mm;
- déficit hídrico anual: 20 mm.

As parcelas experimentais das quais foram retiradas as madeiras deste estudo, possuem área de aproximadamente 1 ha cada, para as 7 espécies estudadas. A idade das árvores por espécie e respectivas procedências de sementes, bem como espaçamento, estão sumariados no quadro 18.

QUADRO 18 - ÉPOCA DE PLANTIO, ESPAÇAMENTO E PROCEDÊNCIA DAS SEMENTES DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

ESPÉCIE	ÉPOCA DE PLANTIO ESPAÇAMENTO(m)	PARCELA - PROCÊDENCIA/PROGÊNIE
<i>E. citriodora</i>	22/05/80 3 X 2	T20 A74 - 34 progênies de várias procedências da Austrália, sendo 5 procedências da CAF.
<i>E. tereticornis</i>	22/05/80 3 X 2	T3 B82 - População base - multiprocedências.
<i>E. paniculata</i>	20/08/79 3 X 2	T2 F62 - Sementes comerciais do horto de Rio Claro.
<i>E. pilulares</i>	30/03/82 3 X 3	T7 B82 - 22 progênies de diversas procedências da Austrália, além de outras procedências como Zimbabue, e 2 de Mogi Guaçu (IFESP).
<i>E. cloeziana</i>	22/05/80 3 X 3	T16 A73 - 16 matrizes de diversas procedências da Austrália.
<i>E. urophylla</i>	27/12/78 3 X 2	T8 C50 - Procedências de Timor e Indonésia.
<i>E. grandis</i>	03/05/80 3 X 2	T11 C77 - 25 matrizes de Atherton - Austrália.

Quanto ao número de árvores abatidas por espécie, optou-se por 5 árvores, número de repetições adotado em função do número de parâmetros a serem estudados, tamanho relativamente pequeno das parcelas, história e principalmente consulta aos princípios básicos da experimentação, segundo os quais recomenda-se um número de unidades experimentais (tratamento X repetições) superior a 20, o que para o experimento proposto é de 35. Os DAPs (diâmetro a altura do peito, 1,30 m) das árvores a serem abatidas foram tomados em função do DAP médio de cada parcela. Fez-se a escolha das árvores de maneira aleatória, dentro das respectivas parcelas, eliminando sempre àquelas de bordadura, optando por um valor de DAP num intervalo de confiança de 5% em relação aos limites inferiores e superiores ao valor médio da parcela. Uma vez

definido os valores dos diâmetros e escolhidas as árvores a serem abatidas, estas foram marcadas com fitas plásticas para posterior abate.

Os dados de produtividade das espécies em estudo foram gentilmente cedidos pelo Professor João Walter Simões, responsável pela implantação da unidade experimental de Anhembi-SP. Entretanto, para efeitos de complementação do cálculo da produtividade, foram realizadas medições de DAP e altura total das árvores das parcelas de *E. citriodora* e *E. paniculata*. Os valores de produtividade das espécies estudadas, são obtidos basicamente através da somatória do volume de madeira produzido nos desbastes e remanescentes, divididos pelas idades das parcelas. A figura 26, mostra uma parcela de *E. paniculata* tendo em primeiro plano uma árvore marcada para ser abatida.



Figura 26 Fotografia mostrando a parcela de *Eucalyptus paniculata*, tendo em primeiro plano uma árvore marcada para abate.

A seqüência das várias etapas da fase experimental do trabalho será apresentada nos próximos itens.

4.1. Abate das Árvores, Medições e Observações Feitas Durante a Operação

A operação de abate foi realizada com motosserra. Procurou-se cortar as árvores, o mais próximo ao solo possível, sendo portanto registrada a altura de cepa, para fins de determinação das diferentes alturas do fuste a serem tomadas. Após derrubada da árvore, fez-se a retirada de discos, de aproximadamente 5 cm de espessura, localizados na base da árvore, a 25% da altura comercial, na parte mediana do fuste, a 75% da altura e no topo (diâmetro igual a 5 cm). Os discos foram imediatamente identificados, por lápis cópia, e armazenados em sacos plásticos, fechados para reduzir a perda de umidade. Além da retirada dos discos, foram feitas outras medições e observações destacadas a seguir:

- medição de DAP (diâmetro a altura do peito, 1,30 m);
- diâmetro basal;
- diâmetros a intervalos de 4,0 m ao longo do fuste, até altura correspondente ao diâmetro comercial de 5 cm;
- altura total do fuste;
- altura e diâmetro correspondente aos primeiros galhos;
- altura a um diâmetro comercial de 15 cm (considerado para efeito de serraria);
- coloração do lenho recém abatido;
- distinção entre cerne e alburno;
- aparecimento de fendas, com medição de largura, profundidade e comprimento;
- surgimento de tensões de crescimento.

Além dos discos de madeira, foi retirada de cada árvore a tora da base, de comprimento igual a 2 m, a qual foi transportada até a serraria da ESALQ/USP, para o preparo do restante da madeira utilizada no estudo.

A operação de abate das árvores, está ilustrada na figura 27, onde se vê um fuste e respectiva identificação de um disco de madeira de *E. citriodora*.



Figura 27 Fotografia mostrando a operação de coleta de disco (amostras) de uma árvore de *Eucalyptus citriodora*.

A partir da medição das 35 árvores das 7 espécies estudadas, e um total de 175 discos de madeira, foi possível a obtenção de informações a respeito do volume, fator de forma e conicidade das árvores. Para a determinação do volume utilizou-se a fórmula de Smalian, ou seja:

$$V = \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right) \times L \quad (6) \text{ onde:}$$

V = volume da seção considerada (m^3);

S_1 = área seccional de uma extremidade da seção (m^2);

S_2 = área seccional da outra extremidade da seção (m^2);

L = comprimento da seção(m).

Para o cálculo do fator de forma utilizou-se a fórmula:

$$f = \frac{V_{real}}{V_{cilindrico}} \quad (7), \text{onde:}$$

f = fator de forma;

$$V_{real} = S_{malian}; \quad (8)$$

$$V_{cilindrico} = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \cdot H \quad (9), \text{ onde:}$$

D = diâmetro a altura do peito (1,30 m);

H = altura comercial.

A conicidade (C) foi calculada usando a seguinte equação:

$$C = \frac{(D_1 - D_2)}{L} \quad (10) \text{ onde:}$$

D_1 = diâmetro da extremidade inferior (cm)

D_2 = diâmetro da extremidade superior (cm)

L = comprimento da tora, constante igual a 4 m.

4.2. Manuseio dos Discos de Madeira em Laboratório

Chegando ao Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeira do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, os discos foram trabalhados imediatamente para evitar a perda de umidade dos mesmos. Foi feita a medição dos diâmetros radiais e opostos (D_1 e D_2), com e sem casca, determinação da espessura de alburno e outras observações, como por exemplo a presença ou não de canais intercelulares traumáticos. A partir de tais informações, foi possível a determinação de quantidade de casca, cerne e alburno das espécies estudadas.

Tomadas tais informações, mencionadas anteriormente, retirou-se de cada disco uma baqueta radial passando pela medula, de largura de 2,5 cm, para realização dos ensaios de teor de umidade e densidade básica, a serem descritos posteriormente. Tais baquetas de madeira foram acondicionadas em sacos plástico e guardadas em geladeira, para evitar perda de umidade.

4.3. Desdobro das Toras

As toras foram desdobradas, em engenho de serra de fita, na carpintaria da ESALQ/USP. Além de uma tábua retirada no centro de cada tora (radial passando pela medula), com espessura variável de 3,0 a 5,0 cm, foram retiradas tábuas tangenciais de 3,0 cm, e planchas de espessura de 6,0 cm, para serem utilizadas em trabalhos posteriores. Durante a operação de desdobro, foram feitas observações a respeito da liberação de tensões de crescimento e quanto ao aparecimento de outros tipos de fendilhamento. A partir da tábua radial (passando pela região da medula) de cada tora, foi retirada uma parte a ser utilizada nos demais ensaios do experimento. A figura 28, mostra o esquema de retirada da amostra maior e partes menores.

A exceção dos corpos-de-prova utilizados na determinação dos teores de umidade e de densidade básica, os demais corpos-de-prova foram confeccionadas no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos-EESC/USP.

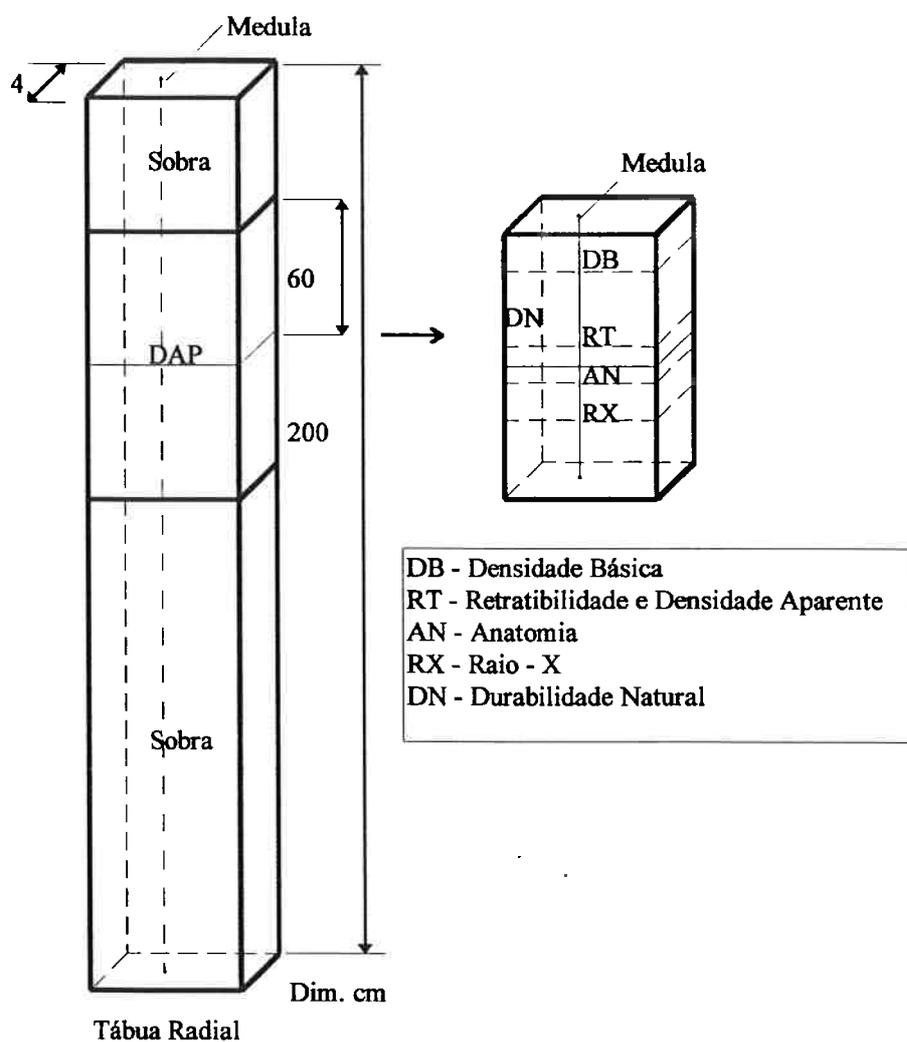


Figura 28 Esquema de retirada da amostra de 60 cm, bem como a localização de amostras menores para os demais ensaios experimentais.

4.4. Teor de Umidade e Densidade Básica da Madeira

Fez-se a determinação do teor de umidade e da densidade básica da madeira, ao longo das baguetas, a intervalos de 1,0 cm a partir da medula, em direção à casca, para as várias alturas do fuste, ou seja na base, a 25, 50 e 75% da altura comercial, e no topo (altura comercial correspondente a um diâmetro de 5,0 cm). Tais amostras retiradas das baguetas provenientes dos discos, citados nos itens anteriores, medem aproximadamente 1,0 X 2,5 X 5,0 cm, sendo a última dimensão no sentido longitudinal da árvore. Este estudo foi desenvolvido no Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP.

Para este ensaio, mesmo tomando as precauções no sentido de evitar perda de umidade dos discos e baguetas de madeira (acondicionamento em sacos plásticos e geladeira), procurou-se fazer as tomadas de peso e volume verde o mais rápido possível, afim de que o teor de umidade e sua variação refletisse uma condição mais próxima do estado verde dessas madeiras.

Na determinação do volume das amostras de madeira, na condição saturada ou verde, utilizou-se o método da balança hidrostática descrito na norma MB-26/40 da ABNT(1940), mas com a substituição do mercúrio pela água, pois as amostras se encontravam saturadas. Para determinação da massa verde e seca em estufa, utilizou-se uma balança de precisão de 0,01 g. Após determinação da massa e do volume verde, as amostras foram colocadas em uma estufa de ventilação forçada e controle automático a uma temperatura de 105 °C, até atingirem massa constante. Uma vez completamente secas, registrou-se a massa anidro das amostras.

Para os cálculos do teor de umidade e da densidade básica, foram utilizadas as seguintes equações:

$$TU = \left(\frac{m_v - m_s}{m_s} \right) \times 100 \quad (11), \text{ onde:}$$

TU = teor de umidade (%);

m_v = massa da amostra verde (g);

m_s = massa da amostra absolutamente seca (g).

$$DB = \frac{m_s}{V_v} \quad (12), \text{ onde:}$$

DB = densidade básica (g/cm³);

V_v = volume da amostra verde (cm³).

4.5. Anatomia da Madeira

O estudo da anatomia da madeira foi desenvolvido no Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeira do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP. Foram definidas quatro posições eqüidistantes de amostragem na direção medula-casca,

em bagueta ilustrada na figura 28 do item 4.3. Portanto para este e demais estudos, a serem relatados posteriormente, o material sempre se situa na região do DAP, nas 35 árvores das 7 espécies de *Eucalyptus* estudadas. A localização destas amostras no sentido radial das árvores foi: próxima à medula (0% do raio), 33, 66 e 100% (periferia do fuste) do raio. Para facilitar o detalhamento desta metodologia, é conveniente a inserção dos principais aspectos estudados nos sub-itens descritos a seguir.

4.5.1. Mensuração de Fibras

A exceção dos demais estudos, nos quais utilizou-se apenas uma árvore por espécie, para o caso das fibras, foram utilizadas as 35 árvores face à relevância desta informação aos objetivos do trabalho.

Na dissociação dos elementos anatômicos, utilizou-se a maceração pelo método do ácido nítrico-acético, descrito por BARRICHELLO; FOELKEL (1983). Uma vez preparado o macerado, em cada uma das 140 amostras do experimento foram medidas 50 fibras, distribuídas em 4 lâminas de vidro, totalizando 7000 fibras.

Para medição do comprimento das fibras utilizou-se um microscópio projetor de fibras de marca BAUSCH & LOMB, e para as medidas de largura e diâmetro de lume, fez-se a utilização de um microscópio óptico comum, com ocular micrométrica, de mesma marca do equipamento anterior.

De posse das informações referentes à largura celular e diâmetro de lume, foi possível o cálculo da espessura da parede celular, que pode ser definida como metade da diferença entre os valores encontrados para largura celular menos o diâmetro do lume (vazio).

4.5.2. Descrição Anatômica Qualitativa

Tanto neste sub-item, quanto nos demais, utilizou-se apenas uma árvore por espécie. Para a descrição microscópica, utilizou-se apenas de uma amostra localizada próximo ao cerne externo, conforme recomendações da norma de procedimentos em estudos de anatomia de madeira, da COPANT (1974). Não existiu a pretensão de fazer um estudo anatômico completo das espécies em estudo, devido à existência de trabalhos

específicos nessa área. Entretanto, procurou-se analisar aspectos que fossem de alguma forma importantes quanto aos objetivos do trabalho. Daí, fez-se uma descrição de caracteres gerais como: distinção entre cerne e alburno; cor da madeira; brilho; cheiro; gosto; grã; camadas de crescimento, entre outras observações. Fez-se também a descrição microscópica das características anatômicas importantes como: parênquima; porosidade; raios; fibras e acessórios.

Para tais estudos foram utilizadas amostras de madeira polida e lâminas montadas com cortes histológicos, retirados dos três planos fundamentais da madeira, ou seja: plano transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial. Para o preparo das lâminas, os cortes de espessura variável de 15 a 18 μm , foram obtidos através de um micrótomo de deslize, no Laboratório de Anatomia da Divisão de Produtos Florestais e Têxteis do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. A partir dos cortes, lâminas permanentes foram montadas em bálsamo, com uma parte dos cortes corados em safranina e outra parte montada ao natural, ou seja sem sofrer nenhum tratamento após a fase de microtomia. A etapa de montagem das lâminas foi desenvolvida no Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeira da ESALQ/USP.

Com vistas ao auxílio de tais análises, amostras radiais foram polidas em aparelho polidor de metais, giratório, com a utilização de lixas d'água com grã em seqüência de 220, 320, 600, 1000 e 1200, em polimento a seco. Tais amostras polidas foram úteis em observações macroscópicas dos elementos anatômicos da madeira estudada.

Estes exames da estrutura anatômica foram realizados com microscópio óptico comum, e também com a utilização de lupas.

4.5.3. Descrição Anatômica Quantitativa

Neste estudo foram feitas as mensurações de freqüência de vasos por mm^2 ; diâmetro tangencial dos poros; freqüência, altura e largura dos raios; e diâmetro tangencial das pontoações intervasculares. A exceção da freqüência e diâmetro de vasos, que foram mensurados nas quatro posições de uma única árvore por espécie estudada, os demais parâmetros tiveram apenas o caráter de caracterização das espécies estudadas, sendo tomados somente na posição do cerne periférico.

Parte das lâminas histológicas utilizadas neste ensaio, foram confeccionadas no Laboratório de Anatomia de Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa-MG.

Para tais estudos foi utilizado um microscópio óptico binocular, de marca CARL ZEISS, equipado com escala micrométrica.

4.5.4. Fotomicrografia

Encerrado os estudos anatômicos, foram tiradas fotomicrografias dos três planos fundamentais de estudo - plano transversal, tangencial e radial, da madeira das espécies estudadas. Para esta operação foram utilizados filmes comerciais comuns, de ASA 100, em fotomicroscópio semi-automático de marca JENAMED 2 CARL ZEISS.

4.6. Retratibilidade e Massa Específica Aparente da Madeira

O ensaio de retratibilidade e massa específica aparente da madeira em estudo, foi realizado no Laboratório de Madeira e Estrutura de Madeira (LaMEM) da EESC/USP. Neste ensaio, também foram utilizadas madeiras retiradas próximo ao DAP, conforme ilustrado na figura 28 do sub-item 4.3. A amostragem no sentido radial, seguiu os mesmos critérios convencionados no ensaio de anatomia, ou seja próximo à medula, a 33 e 66% do raio, e na periferia do fuste. O procedimento do ensaio seguiu a norma MB-26/40 da ABNT (1940), porém, adotando para cada árvore estudada, um número de 16 corpos-de-prova de dimensões de 2 X 2 X 3 cm, sendo a última dimensão no sentido longitudinal da árvore. Estes corpos-de-prova, foram distribuídos em número de quatro por posição, perfazendo portanto um total de vinte amostras por espécie e posição.

A determinação dos volumes dos corpos-de-prova foi realizada pelo método hidrostático, com a utilização do mercúrio como meio de deslocamento. A massa dos cp's foi tomada, utilizando uma balança com precisão de 0,01 g, e as dimensões nas direções transversal tangencial e radial; e longitudinal foram determinadas por pálmer de precisão de 0,01mm. Na determinação do volume, através da massa de mercúrio deslocado, fez-se a cada dez amostras medidas, aproximadamente, a tomada de

temperatura deste, a fim de fazer as devidas correções de valores de sua densidade ao longo do ensaio.

O ensaio foi iniciado numa condição em que as amostras ainda estavam verdes, ou seja a teores de umidades acima do ponto de saturação das fibras. Para cada um dos 560 cp's utilizados no ensaio, foram feitas as seguintes medições: massa; empuxo no Hg, temperatura do Hg; dimensão tangencial; dimensão radial e dimensão axial. Para as dimensões transversais (tangencial e radial), foram tomados dois valores por cada face medida, para que os cálculos fossem feitos com a utilização dos valores médios.

Encerrada a fase verde, as amostras ficaram em uma sala do laboratório, para secagem ao ar, naturalmente. Após aproximadamente dois meses de controle periódico, as amostras atingiram a umidade de equilíbrio higroscópico, período este, em que foram feitas todas àquelas medições citadas anteriormente. Encerrada a fase do equilíbrio higroscópico com as condições ambientais reinantes no período, as amostras foram para uma estufa de ventilação forçada, ficando por aproximadamente três dias a uma temperatura inicial de 50 °C, e a partir daí a uma condição final de temperatura igual a 105 °C, até que atingissem massa constante. Alcançada a massa anidra, foram feitas, novamente, todas as medições citadas anteriormente. Nesta última fase, utilizou-se um dessecador contendo um desidratante (sílica gel), e a realização das medições foi feita a partir de pequenos grupos de amostras.

A partir dos valores obtidos através das medições, foram calculados os seguintes parâmetros, relacionados ao comportamento higroscópico da madeira:

$$Me(ar) = \frac{m_1}{V} \quad (13), \text{ onde:}$$

$Me(ar)$ = massa específica aparente no equilíbrio higroscópico em g/cm³;

m_1 = massa no equilíbrio higroscópico em g;

V = volume no equilíbrio higroscópico em cm³.

$$UEH = \left(\frac{m_1 - m_0}{m_0} \right) \times 100 \quad (14), \text{ onde:}$$

UEH = umidade de equilíbrio higroscópico em %;

m_0 = massa absolutamente seca em g.

$$UV = \left(\frac{m_2 - m_0}{m_0} \right) \times 100 \quad (15), \text{ onde:}$$

UV = umidade verde em %;

m_2 = massa verde em g.

$$CV_t = \left(\frac{V_2 - V_0}{V_0} \right) \times 100 \quad (16), \text{ onde:}$$

CV_t = contração volumétrica total em % (método brasileiro);

V_2 = volume verde em cm^3 ;

V_0 = volume absolutamente seco em cm^3 .

$$CV_t = \left(\frac{V_2 - V_0}{V_2} \right) \times 100 \text{ mét. internacional} \quad (17)$$

$$CV_p = \left(\frac{V_2 - V_1}{V_1} \right) \times 100 \quad (18), \text{ onde:}$$

CV_p = contração volumétrica parcial (até o equilíbrio higroscópico) em %;

V_1 = volume no equilíbrio higroscópico em cm^3 .

$$CT_t = \left(\frac{DT_2 - DT_0}{DT_0} \right) \times 100 \quad (19), \text{ onde:}$$

CT_t = contração tangencial total em % (método brasileiro);

DT_2 = dimensão tangencial verde em mm;

DT_0 = dimensão tangencial absolutamente seca em mm.

$$CT_t = \left(\frac{DT_2 - DT_0}{DT_2} \right) \times 100 \text{ mét. internacional} \quad (20)$$

$$CT_p = \left(\frac{DT_2 - DT_1}{DT_1} \right) \times 100 \quad (21), \text{ onde:}$$

CT_p = contração tangencial parcial em %;

DT_1 = dimensão tangencial no equilíbrio higroscópico em mm.

$$CR_t = \left(\frac{DR_2 - DR_0}{DR_0} \right) \times 100 \quad (22), \text{ onde:}$$

CR_t = contração radial total em % (método brasileiro);

DR_2 = dimensão radial verde em mm;

DR_0 = dimensão radial absolutamente seca em mm.

$$CR_t = \left(\frac{DR_2 - DR_0}{DR_2} \right) \times 100 \text{ mét. internacional (23)}$$

$$CR_p = \left(\frac{DR_2 - DR_1}{DR_1} \right) \times 100 \quad (24), \text{ onde:}$$

CR_p = contração radial parcial em %;

DR_1 = dimensão radial no equilíbrio higroscópico em mm.

$$CL = \left(\frac{DL_2 - DL_0}{DL_0} \right) \times 100 \quad (25), \text{ onde:}$$

CL = contração longitudinal total em % (método brasileiro);

DL_2 = dimensão longitudinal verde em mm;

DL_0 = dimensão longitudinal absolutamente seca em mm.

$$FA_t = \frac{CT_t}{CR_t} \quad (26), \text{ onde:}$$

FA_t = fator anisotrópico total (adimensional).

$$FA_p = \frac{CT_p}{CR_p} \quad (27), \text{ onde:}$$

FA_p = fator anisotrópico parcial.

$$CRV = \frac{CVT}{28} \quad (28), \text{ onde:}$$

CRV = coeficiente de retratibilidade volumétrica (adimensional).

$$Me(12) = me(n) + me(n) \times \left(\frac{1-v}{100} \right) \times 12 - n \quad (29), \text{ onde:}$$

$Me(12)$ = massa específica aparente a umidade de 12% em g/cm³;

$me(n)$ = massa específica aparente a n% de umidade em g/cm³;

v = coeficiente de retratibilidade volumétrica;

n = umidade da amostra em %.

Uma vez conhecidos os valores de densidade básica e massa específica aparente a 12% de umidade, fez-se um ajuste dos dados a um modelo de regressão linear simples, para o cálculo de uma densidade em função da outra, para as madeiras das sete espécies de eucalipto estudadas nesse trabalho.

4.7. Durabilidade Natural da Madeira

O ensaio de durabilidade natural da madeira, foi realizado no Agrupamento de Preservação de Madeira da Divisão de Produtos Florestais e Têxteis do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Este ensaio visou principalmente o comportamento geral das espécies de madeira, quanto ao grau de susceptibilidade a dois dos principais grupos de organismos xilófagos, comumente encontrados no Brasil, ou seja cupins de madeira seca e fungos apodrecedores.

4.7.1. Ensaio de Cupins de Madeira Seca

Voltando à figura 28, do item 4.3, a madeira utilizada neste ensaio foi proveniente da primeira metade (acima do DAP), do raio oposto aquele utilizado para os ensaios anteriormente descritos, exceto densidade básica, para a qual foram retirados os dois raios opostos.

Foi adotado o método de ensaio desenvolvido no IPT, ou seja, Ensaio Acelerado de Laboratório da Resistência Natural ou de Madeira Preservada ao Ataque de Térmitas do Gênero *Cryptotermes* (Fam. Kalotermitidae), IPT (1980).

Desenvolveu-se o ensaio com a utilização de amostra de madeira seca ao ar e climatizada, de dimensões 2,3 X 0,6 X 7,0 cm, sendo a última dimensão no sentido axial da árvore, onde cada par de amostras submetidas ao contato com 40 cupins de madeira seca, da espécie *Cryptotermes brevis* da família Kalotermitidae, constituía uma unidade experimental ou repetição.

De cada árvore, procurou-se sempre retirar amostras próximas ao cerne mais externo, o que proporcionou um total de seis repetições por árvore, trinta por espécie e um total de 210 unidades experimentais ensaiadas. Como testemunha, foram adotadas três séries de seis repetições cada, com a madeira de *Pinus elliottii*, em função da impossibilidade de montagem do ensaio numa única vez.

Montado o ensaio, ilustrado na figura 29, este ficou em câmara climatizada, a uma condição de temperatura aproximadamente igual a 27,0 °C e umidade relativa por volta de 74%, por um período de 45 dias, fazendo-se, a intervalos periódicos, observações quanto à sua evolução.



Figura 29 Fotografia ilustrando o ensaio de cupim de madeira seca para sete espécies de *Eucalyptus*.

A fotografia da figura 29, ilustra a madeira das sete espécies estudadas, e àquela utilizada como testemunha. As espécies são: ao fundo da esquerda para direita *E. grandis*, *E. paniculata*, *E. tereticornis* e *E. citriodora*; em primeiro plano, também da esquerda para a direita *Pinus elliottii* (testemunha), *E. urophylla*, *E. cloeziana* e *E. pilularis*.

No final do ensaio foi feita a seguinte avaliação: contagem de cupins vivos, número de furos por amostra e avaliação subjetiva do grau de ataque, conforme prescrito no método. Essa avaliação subjetiva foi feita comparativamente às amostras testemunhas, as quais pressupunham um desgaste acentuado. O resultado a ser apresentado, decorrentes dessa avaliação, será o valor médio de três observações.

4.7.2. Ensaio de Apodrecimento Acelerado

Neste ensaio utilizou-se a madeira localizada imediatamente abaixo àquela utilizada no ensaio descrito anteriormente, procurando sempre utilizar o cerne mais

externo da árvore. Seguiu-se a norma D-2017-81, da ASTM(1984), para ensaio acelerado de laboratório da resistência natural da madeira ao apodrecimento.

Esse método, consiste em colocar amostras de madeira, de dimensões 2,5 X 2,5 X 0,9 cm, sendo a última dimensão no sentido longitudinal da árvore, em contato com um fungo apodrecedor proveniente de cultura pura, em substrato a base de solo. Neste ensaio utilizou-se o fungo causador de podridão parda, *Gloeophyllum trabeum*, em número de seis repetições por árvore, perfazendo um total trinta corpos-de-prova por espécie, e 210 amostras para as espécies em estudo. Como testemunha, foram utilizadas trinta repetições de amostras de madeira de *Pinus elliottii*. Face aos objetivos do trabalho, foram feitas algumas alterações ao método da ASTM, sendo a principal aquela que diz respeito ao acondicionamento das amostras antes e após o término do ensaio. Neste ensaio, as amostras foram secas em estufa, até massa constante (0% de umidade), e posteriormente acondicionadas numa câmara a temperatura de 27,0 °C e umidade relativa do ar de 74%, aproximadamente. Outra alteração introduzida foi, quanto ao encerramento do experimento, optando simplesmente pelo período de dezesseis semanas, após introduzidos os corpos-de-prova, nos frascos em contato com o fungo.

Para tomada das massas secas em estufa a 105 °C, antes da exposição e no final do ensaio, utilizou-se uma balança com precisão de 0,01g.

A figura 30, ilustra um frasco contendo dois blocos de madeira submetidos ao ataque do fungo *Gloeophyllum trabeum*.



Figura 30 Fotografia mostrando um frasco com dois corpos-de-prova submetidos ao ataque do fungo *Gloeophyllum trabeum* no ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório.

A avaliação da resistência natural da madeira de eucalipto, foi realizada após período de exposição de dezesseis semanas, através da perda de massa dos corpos-de-prova da madeira estudada e das testemunhas, conforme a equação abaixo:

$$PM = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100 \quad (30), \text{ onde:}$$

PM = perda de massa em %;

m_i = massa inicial absolutamente seca (antes da exposição ao fungo) em g;

m_f = massa final absolutamente seca (após a exposição ao fungo) em g.

4.8. Densitometria de Raios-X

Este estudo, desenvolvido no Laboratório de Identificação e Anatomia de Madeira do Departamento de Ciências Florestais, da ESALQ/USP, iniciou-se com o

preparo das amostras radiais retiradas na região do DAP, conforme ilustrado na figura 28 do sub-item 4.3. As baguetas maiores, foram cortadas em amostras radiais, de largura aproximada de 1,0 cm na superfície transversal e espessura em torno de 1,0 mm na direção longitudinal da madeira. Na obtenção das 35 amostras de madeira, representativas das árvores de sete espécies de *Eucalyptus*, foi utilizada uma serra circular de pequeno diâmetro ($\cong 5,0$ cm), adaptada para esta operação. Uma vez obtidas as amostras, estas foram acondicionadas numa câmara de climatização, que possibilitou a obtenção de um teor de umidade de equilíbrio médio igual a 11,07% para as 35 amostras de madeira.

Uma vez atingida umidade constante, as amostras foram colocadas sobre um filme fotográfico de marca Kodak, Diagnostic Film X-Omat, de dimensão 24X18cm. Na posição central deste colocou-se uma cunha de calibração, feita a partir de acetato de celulose, com 12 degraus, representativa de uma ampla gama de densidade, que foi utilizada na conversão da densidade óptica em densidade aparente da madeira. Uma vez montados os filmes com as respectivas amostras e cunha de calibração, o conjunto foi irradiado por raios-X, em um equipamento de marca Hewlett Packard, modelo Faxitron 43805N. Após a irradiação, os filmes foram revelados, com respectiva cópia dos negativos em papel fotográfico. Um conjunto de quinze amostras de madeira de *Eucalyptus*, bem como a cunha de calibração são ilustrados na figura 31, através do positivo de uma das radiografias.

Na figura 31, podem ser observados os vários degraus da cunha de calibração, e a partir da variação do número de camadas do acetato de celulose, obtém-se os diferentes valores de densidade aparente, que por sua vez irão correlacionar à densidade óptica, determinada em operações posteriores.

Feita a irradiação das amostras, fez-se a determinação da densidade aparente destas, através do método gravimétrico convencional, a fim de que tais valores pudessem ser comparados aos determinados pela técnica da densitometria de raios-X, e úteis em algumas correções futuras.

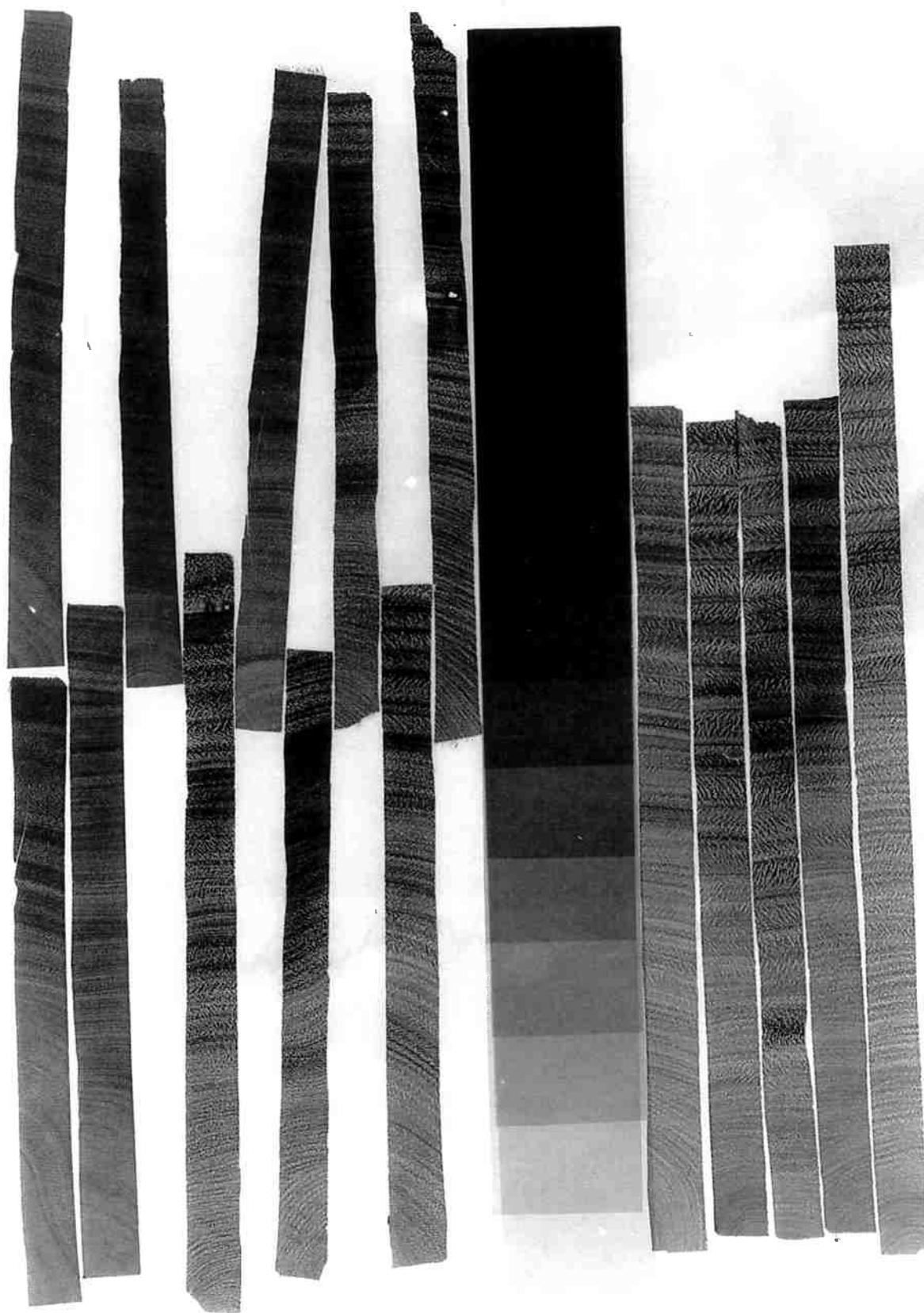
Obtidas as radiografias, estas foram lidas opticamente em um microdensitômetro, de marca Joyce Loebel MK III-C, possibilitando a tomada de densidade óptica a intervalos de 10 μ m. Os dados de densidade óptica foram arquivados em disquetes de computador para posterior análises.

Após a transferência dos dados de densidade óptica dos disquetes para um outro computador, fez-se através de software específico, a transformação desta para a densidade aparente da madeira.

O detalhamento dos equipamentos, filmes, processamento, bem como as análises dos dados envolvidos na técnica de densitometria de raios-X, é encontrado em AMARAL (1994).

Uma vez obtidos os valores de densidade aparente das amostras de madeira, foram feitas duas correções, julgadas necessárias, para que os índices fossem mais representativos destas madeiras. A primeira diz respeito ao teor de umidade, que após o condicionamento das amostras foi variável, sendo em média igual a 11,07%, para o conjunto destas. O valor da densidade foi então corrigido para um teor de umidade de 12%. Outro fator de correção, foi aquele proveniente da relação entre a densidade gravimétrica das amostras por aquela determinada pela densitometria de raios-X. Este último fator não foi elevado, com variação entre 0,8 a 1,3 em média, para as 35 amostras de madeira. Esta correção sempre é necessária, uma vez que a densidade utilizada para a correção da densidade óptica, é aquela referente ao acetato de celulose, que como se sabe é um pouco diferente daquela da madeira propriamente dita, onde primariamente é constituída de dois outros polímeros além da celulose. Uma vez que para o propósito deste estudo, a magnitude dos índices possui menor importância. Tratando-se de determinar as variações da densidade aparente ao longo do raio destas madeiras, dispensou-se também a retirada dos extrativos da madeira, normalmente em metanol, que sem nenhuma dúvida podem interferir nos valores desta propriedade.

Uma vez corrigidos os valores da densidade, fez-se a plotagem de gráficos para cada árvore, representando o perfil densitométrico da madeira das sete espécies de *Eucalyptus* deste estudo.



357

Figura 31 Positivo de uma radiografia mostrando a disposição de amostras de madeira e a curva de calibração que foram irradiadas com raios-X.

4.9. Estimativas de Algumas Propriedades Mecânicas da Madeira

A estimativa de algumas das principais propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus* deste estudo, foi baseada em equações de regressões ajustadas por ZHANG (1994). Foram testados vários modelos para as propriedades mecânicas de madeiras de eucalipto, determinadas experimentalmente por ALBUQUERQUE (1991) e também publicadas no boletim 31 do INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT), em 1956. Os modelos e propriedades estimadas são apresentados no quadro 19.

QUADRO 19 - MODELOS E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (%) AJUSTADOS POR ZHANG (1994) E UTILIZADOS NA ESTIMATIVA DE ALGUMAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA DE SETE ESPÉCIES DE *Eucalyptus*

PROPRIEDADE (Mpa)	MODELO*	r ² /R ² (%)	GRUPO DE MADEIRAS
Módulo de Elasticidade	$Y = 1470 + 15300 \cdot X$	75	Madeiras de porosidade difusa
Módulo de Ruptura	$Y = 151 \cdot X^{1,413}$	72	<i>Eucalyptus</i>
Resistência a Compressão Paralela à Grã	$Y = 71 \cdot X^{1,145}$	65	<i>Eucalyptus</i>
Resistência ao Cisalhamento	$Y = -0,1 + 17,2 \cdot X$	69	Madeiras de porosidade difusa
Dureza (Janka) - Transversal	$Y = -56,1 + 165 \cdot X$	88	Madeiras de porosidade difusa
Resistência a Tração Paralela à Grã	$Y = 149 \cdot X^{1,267}$	66	<i>Eucalyptus</i>

* - Y - estimativa da propriedade mecânica da madeira verde em MPa; X - densidade básica em g/cm³.

A escolha destes modelos foi feita baseada em testes, nos quais foram utilizados vários outros modelos, curvilíneos e lineares, ajustados tanto para o gênero *Eucalyptus*, quanto também para as madeiras de folhosas de porosidade difusa, que incluem os eucaliptos. Uma vez testados os vários modelos, optou-se por aqueles que estimaram as propriedades com maior aproximação àquelas determinadas experimentalmente em laboratório, conforme as relações apresentadas do quadro 20.

QUADRO 20 - RELAÇÃO ENTRE OS VALORES ESTIMADOS E DETERMINADOS EXPERIMENTALMENTE PARA SEIS PROPRIEDADES MECÂNICAS, EM DADOS DE ALBUQUERQUE (1991) E DO IPT(1956) PARA ALGUMAS MADEIRAS DE *Eucalyptus*

ESPÉCIE	FONTE*	RELAÇÃO ENTRE VALOR ESTIMADO/EXPERIMENTAL ¹					
		MOE	MOR	RCP	RC	Dureza	RTP
<i>E. alba</i>	1	0.86	0.98	1.09	0.97	0.81	1.13
<i>E. camaldulensis</i>	1	1.00	1.25	1.24	1.00	0.93	1.44
<i>E. citriodora</i>	1	0.74	0.97	0.97	0.89	0.64	0.95
<i>E. citriodora</i>	2	1.04	1.02	1.10	0.85	0.91	-
<i>E. cloeziana</i>	1	0.93	1.06	0.99	0.85	0.66	0.85
<i>E. grandis</i>	1	0.84	0.91	0.98	0.90	0.62	0.94
<i>E. maculata</i>	1	0.86	1.02	0.99	0.96	0.76	1.05
<i>E. maideni</i>	1	0.91	1.01	1.10	1.04	0.83	1.03
<i>E. maideni</i>	2	0.81	0.88	1.07	0.90	0.84	-
<i>E. microcorys</i>	1	0.74	1.15	1.13	1.05	0.94	1.15
<i>E. microcorys</i>	2	0.73	0.81	0.93	1.00	0.99	-
<i>E. paniculata</i>	1	0.91	1.20	1.10	0.93	0.83	1.16
<i>E. paniculata</i>	2	0.78	0.91	1.16	0.94	0.95	-
<i>E. pilularis</i>	2	0.85	0.83	0.95	0.86	0.80	-
<i>E. propinqua</i>	1	0.96	1.07	1.19	1.08	0.95	1.21
<i>E. punctata</i>	1	0.82	1.10	1.05	0.88	0.82	0.97
<i>E. saligna</i>	1	0.85	0.97	1.03	0.94	0.74	1.02
<i>E. saligna</i>	2	0.85	0.89	1.16	1.05	0.86	-
<i>E. tereticornis</i>	1	0.83	1.12	1.04	0.93	0.81	1.16
<i>E. tereticornis</i>	2	0.99	0.82	0.99	0.96	0.85	-
<i>E. triantha</i>	1	0.84	0.86	0.98	0.84	0.65	0.93
<i>E. umbra</i>	1	0.86	1.14	1.02	0.90	0.77	1.03
<i>E. umbra</i>	2	1.04	0.84	1.01	0.81	0.75	-
<i>E. urophylla</i>	1	0.88	0.94	1.02	0.90	0.69	0.91

* - 1 - ALBUQUERQUE (1991); 2 - Boletim 31, IPT (1956);

¹ - MOE - módulo de elasticidade; MOR - módulo de ruptura; RCP - máxima resistência a compressão paralela a grã; RC - máxima resistência ao cisalhamento paralelo a grã; RTP - máxima resistência a tração paralela a grã.