

**BIODEGRADAÇÃO DE PRODUTOS À BASE
DA MADEIRA DE CEDRO AUSTRALIANO
(*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*)**

NATÁLIA AMARANTE ALMEIDA

2010

NATÁLIA AMARANTE ALMEIDA

**BIODEGRADAÇÃO DE PRODUTOS À BASE DA MADEIRA DE
CEDRO AUSTRALIANO (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador
Prof. Lourival Marin Mendes

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2010

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Almeida, Natália Amarante.

Biodegradação de produtos à base da madeira de cedro
australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var *australis*) / Natália
Amarante Almeida. – Lavras : UFLA, 2010.

86 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Lourival Marin Mendes.

Bibliografia.

1. Cedro australiano. 2. Painéis reconstituídos. 3. Degradação. 4.
Resistência. 5. Fungos xilófagos. I. Universidade Federal de Lavras.
II. Título.

CDD – 674.835

NATÁLIA AMARANTE ALMEIDA

**BIODEGRADAÇÃO DE PRODUTOS À BASE DA MADEIRA DE
CEDRO AUSTRALIANO (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 29 de março de 2010

Prof. Lourival Marin Mendes

UFLA

Prof. Fábio Akira Mori

UFLA

Profa. Maria Cristina Mendes Costa

UNILAVRAS

Prof. Lourival Marin Mendes
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

À Deus
Pela vida e pela força
para vencer mais essa etapa

Aos pesquisadores do LPF,
Anne e Alencar,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Lourival, meu orientador, por todo ensinamento, apoio, confiança e amizade.

À equipe de docentes do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, pela eficiência e determinação.

Aos meus pais, por todo incentivo e carinho durante todo o tempo para a concretização deste trabalho.

À CAPES, pelo fornecimento de recursos que foram fundamentais para que a pesquisa fosse feita em parceria com o Laboratório de Produtos Florestais (LPF) em Brasília.

Ao pessoal do LPF, Esmeralda Okino, Alencar Garlet, Maria Eliete, Jane, Lopes e Getúlio por me ajudarem em grande parte do trabalho prático. E do UEPAM, o técnico Héber Lúcio.

Aos meus irmãos Álvaro e Enrico, que cederam parte dos seus dias de trabalho, tornando-se viável minha pesquisa no DF.

Pela colaboração dos meus colegas do programa durante partes do trabalho, em especial a amiga Alessandra, Lina, Vânia e Selma. Ao Paulo Hein que desde início me incentivou e aconselhou.

Ao meu namorado Denis pela compreensão e amor.

Pelo companheirismo, amizade e momentos felizes, as minhas amigas: Jack, Keizinha, Fernanda, Priscila, Cris e Mara.

A todas as pessoas que de alguma maneira colaboraram para que este trabalho fosse concretizado.

Obrigada.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	2
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
3.1 Painéis reconstituídos.....	3
3.1.2 Painéis aglomerados.....	5
3.1.3 Painéis OSB (Oriented strand board).....	6
3.2 Matéria-prima.....	7
3.2.1 Cedro australiano (<i>Toona ciliata</i> M. Roem. var. <i>australis</i>).....	7
3.2.2 <i>Eucalyptus</i> sp.....	9
3.2.3 <i>Pinus</i> sp.....	10
3.3 Biodegradação da madeira.....	11
3.3.1 Fungos da podridão branca da madeira.....	16
3.3.2 O fungo <i>Trametes versicolor</i>	19
3.3.3 Fungos da podridão parda da madeira.....	20
3.3.4 O fungo <i>Gloephyllum trabeum</i>	22
3.4 Biodegradação de painéis reconstituídos.....	22
3.5 Colorimetria.....	25
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
4.1 Análise química.....	30
4.2 Caracterização anatômica da madeira do cedro australiano.....	31
4.3 Material de estudo para biodegradação.....	32
4.3.1 Delineamento experimental.....	33
4.4 Ensaio acelerado de laboratório.....	33
4.4.1 Preparação dos corpos-de-prova.....	34
4.4.2 Fungos xilófagos e ensaio de apodrecimento.....	35
4.4.3 Blocos de correção.....	38
4.4.4 Espécies de referência.....	38
4.4.5 Determinação da perda de massa.....	39
4.5 Determinação da cor das madeiras.....	40
4.6 Determinação da lignina solúvel e insolúvel.....	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5.1 Análise química.....	44
5.2 Caracterização anatômica.....	48
5.3 Resistência a biodegradação.....	54
5.3.1 Perda de massa das espécies de referência.....	54

5.3.2 Perda de massa da madeira de cedro australiano	55
5.3.3 Perda de massa dos painéis OSB	57
5.3.4 Perda de massa dos painéis aglomerados.....	61
5.5 Análise colorimétrica.....	64
5.6 Lignina solúvel e insolúvel da madeira e dos tratamentos atacados e não atacados.....	70
6 CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Tabela não periódica dos elementos de madeira.....	3
FIGURA 2 Esquema representativo de painéis de madeira reconstituída.	4
FIGURA 3 Composição estrutural das chapas “OSB”.....	6
FIGURA 4 O fungo <i>Trametes versicolor</i>	19
FIGURA 5 Espaço colorimétrico CIELAB.	28
FIGURA 6 Corpo-de-prova numerado.	34
FIGURA 7 Meio de cultura malte com <i>Trametes versicolor</i>	35
FIGURA 8 Frascos de ensaio. a) Sem a placa suporte; b) com a placa; c) placa recoberta por micélio.	36
FIGURA 9 Amostras na câmara climática.	37
FIGURA 10 Corpo-de-prova coberto por micélio <i>Trametes versicolor</i> e pelo micélio do <i>Gloeophyllum trabeum</i>	37
FIGURA 11 Corpos-de-prova de referência, embaúba e pinus.	38
FIGURA 12 Espectrofotocolorímetro Datacolor Microflash 200d.	41
FIGURA 13 Disco da madeira de cedro australiano com 18 anos.	49
FIGURA 14 Aspectos anatômicos gerais da madeira de cedro australiano de 18 anos. a: Pontoações intervasculares ; b: vaso e células de parênquima do raio evidenciando as pontoações raio-vasculares; c: plano transversal com camada de crescimento distinta, espessura diferenciada na parede das fibras, bem como vasos de tamanhos diferentes (anéis semiporosos), evidenciando vasos solitários e geminados, com contorno arredondado e parênquima axial escasso; d: células de amido; e: cristais; f: sílica e raio com células procumbentes, quadradas e eretas; g: aspectos dos raios unisseriados e multisseriados; h: elemento de vaso com apêndice nas duas extremidades; i: fibras libriformes; j: placa de perfuração simples.....	51
FIGURA 15 Valores médios da perda de massa (%) observados para a madeira de cedro australiano submetida ao ataque dos fungos <i>Trametes versicolor</i> (podridão branca) e <i>Gloeophyllum trabeum</i> (podridão parda). Os valores entre parênteses são os desvios-padrão.....	55
FIGURA 16 Corpos-de-prova dos tratamentos após a deterioração pelos fungos <i>T. versicolor</i> e <i>G. trabeum</i> e sem fungo por um período de 12 semanas.....	64
FIGURA 17 Valores médios da variação da cor ΔE^* da madeira de cedro australiano (T1) e dos painéis aglomerados (T2, T3, T4) expostos aos fungos <i>Trametes versicolor</i> e <i>Gloeophyllum trabeum</i>	65

FIGURA 18 Valores médios da variação da cor ΔE^* dos painéis OSB expostos aos fungos <i>T. versicolor</i> e <i>G. trabeum</i>	67
FIGURA 19 Curva de refletância da madeira de cedro australiano sem o ataque de fungo (controle) e após o ataque do fungo de podridão branca, <i>Trametes versicolor</i> e o fungo de podridão parda, <i>Gloeophyllum trabeum</i>	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 Plano experimental arranjado neste trabalho.	33
TABELA 2 Classes de resistência ao apodrecimento segundo a norma D-2017 (ASTM, 2005).	40
TABELA 3 Valores médios das características anatômicas mensuradas nas árvores de cedro australiano de 18 anos.	50
TABELA 4 Média de perda de massa e respectiva classe de resistência das madeiras de referência <i>Pinus</i> sp. e <i>Cecropia</i> sp. usadas no ensaio acelerado de laboratório da acordo com a norma D2017 (ASTM, 2005).	54
TABELA 5 Média de perda de massa de painéis OSB expostos aos fungos <i>Trametes versicolor</i> e <i>Gloeophyllum trabeum</i> e as respectivas classes de resistência.	58
TABELA 6 Média de perda de massa de painéis aglomerados expostos aos fungos <i>Trametes versicolor</i> e <i>Gloeophyllum trabeum</i> e respectiva classe de resistência.	61
TABELA 7 Valores dos teores de lignina solúvel e insolúvel dos tratamentos, seguidos dos desvios-padrão.	71

RESUMO

ALMEIDA, Natália Amarante. **Biodegradação de produtos à base da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*)**. 2010. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

A madeira de cedro australiano (*Toona ciliata*) tem sido usada na construção civil, pisos e mobiliários, no entanto, suas propriedades tecnológicas são pouco conhecidas. Por isso, os objetivos do trabalho foram: (i) avaliar a resistência de painéis reconstituídos (OSB e aglomerados) e da madeira de *Toona ciliata* com idade de 18 anos ao teste acelerado de laboratório (ASTM D 2017) por fungos xilófagos de podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*) e branca (*Trametes versicolor*), (ii) caracterizar os componentes anatômicos, (iii) quantificar os componentes químicos, e (iv) avaliar a influência das propriedades tecnológicas na resistência da madeira de *Toona ciliata*. E os parâmetros colorimétricos foram determinados antes e após o ataque dos fungos, utilizando o sistema CIE- L*a*b* 1976. A madeira sólida foi classificada como “moderadamente resistente” e “altamente resistente” ao fungo de podridão branca e parda, e suas perdas de massa foram de 27,8% e 2,9%, respectivamente. Para podridão branca, os painéis OSB foram classificados como “moderadamente resistentes”, exceto os tratamentos T6 (Pinus) e T8 (Cedro-Pinus-Cedro) que foram “resistentes”. Todos os tratamentos foram “altamente resistentes”, quando submetidos ao fungo de podridão parda. Os aglomerados foram “moderadamente resistentes” quando submetidos ao fungo de podridão branca. Os tratamentos T2 (cedro) e T4 (cedro-eucalipto) foram resistentes para podridão parda, mas o T3 (cedro-pinus) não apresentou resistência. Os teores de holocelulose, lignina, extrativos e cinzas das costaneiras do cedro australiano foram de 65,1%, 21,4%, 12,9% e 0,57%, respectivamente. A espécie apresentou textura média, linhas vasculares retilíneas, cheiro agradável ao corte e superfície radial pouco lustrosa. Foram encontradas camadas de crescimento distintas devido à espessura da parede das fibras; vasos ocorrendo em anéis semi-porosos, com predominância de diâmetros médios; parênquima axial paratraqueal escasso; presença de células de amido, sílica e cristais; fibras libriformes com pontuações diminutas e parênquima radial heterogêneo do tipo III. Todos os tratamentos se apresentaram mais escuros após o ataque do fungo *G. trabeum*, com variação total da cor. Observou-se que com a perda de massa houve um aumento nos teores de lignina insolúvel, para todos os tratamentos, indicando

* Comitê Orientador: Lourival Marin Mendes - UFLA (Orientador), Esmeralda Y. Arakaki Okino – LPF e Fábio Akira Mori - UFLA.

que o teor de lignina insolúvel é um fator determinante para a resistência da madeira ao ataque dos fungos. Baseado nesses resultados, conclui-se que a madeira sólida de *Toona ciliata*, a mistura de espécies nos painéis OSB e nos aglomerados produzidos com essa madeira apresentaram “resistência” aos fungos *T. versicolor* e *G. trabeum*, sendo que alguns tratamentos usados nesse trabalho conferiram maior ou menor resistência ao ataque.

Palavras-chaves: *Toona ciliata*, Biodegradação, Painéis reconstituídos.

ABSTRACT

ALMEIDA, Natália Amarante. **Biodegradation of wood-based products manufactured from Australian cedar (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*)**. 2010. 86p. Dissertation (Master's Degree in Wood Science and Technology) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

The Australian cedar (*Toona ciliata*) has been used for construction, flooring and furniture, however, its technological properties are poorly known. Therefore, the objectives of this study were: (i) to evaluate the resistance of reconstituted panels (OSB and conglomerates) made of 18 years-*Toona ciliata* timber by means of accelerated laboratory test (ASTM D 2017) exposed to brown-rot *Gloeophyllum trabeum* and white-rot *Trametes versicolor*; (ii) to characterize the anatomical components; (iii) to quantify gravimetrically some chemical components, and (iv) to evaluate the influence of the technological properties of wood on the resistance of *Toona ciliata* against fungi. In addition, colorimetric parameters were measured in Datacolor International Microflash spectrophotometer before and after the fungi attack through the CIE-L*a*b* 1976 system. The solid wood was classified as “moderately resistant” and “highly resistant” to the white-rot and brown-rot fungus, showing 27.8% and 2.9% weight loss, respectively. For white rot fungus, the OSB were classified as “moderately resistant”, except the treatments T6 (Pine) and T8 (Cedar-Pine-Cedar) that were ranked as “resistant”. All treatments were highly resistant when exposed to the brown rot fungus. The particleboards were classified as “moderately resistant” when exposed to the white rot fungus. Treatments T2 (cedar) and T4 (cedar, eucalypts) were “resistant” to the brown rot fungus, but T3 (cedar, pine) was classified as “not resistant”. The cellulose, insoluble lignin, extractives and ash contents of Australian wood were 65.1%, 21.4%, 12.9% and 0.57%, respectively. The species has medium texture, straight vascular lines, good smell and the soft cut in radial surface, little shine. It was found growth ring due to different thickness of the fiber wall; vessels occur in semi-porous ring, with a predominance of medium diameter, scanty paratracheal axial parenchyma, presence of starch cells, silica, and crystals, septate fibers with tiny pits and heterogeneous parenchyma type III. All treatments were darker after the attack of the fungus *G. Trabeum*. It was observed that as percent weight loss increase, insoluble lignin also increase, in all treatments studied, indicating that the insoluble lignin level is a determining factor for the resistance of wood to fungi attack. Based on these results, it appears that the solid wood of *Toona*

* Guidance Committee: Lourival Marin Mendes - UFLA (Major professor), Esmeralda Y. Arakaki Okino – LPF and Fábio Akira Mori - UFLA.

ciliata, mixture of species in OSB and in particleboards produced from such wood were “resistant” to the fungi *T. versicolor* and *G. trabeum*, and to some treatments used in this work the next lower class was obtained.

Key words: *Toona ciliata*, biodegradation, reconstituted panels.

1 INTRODUÇÃO

Diante da crescente demanda por madeira reflorestada e painéis reconstituídos, torna-se primordial a melhoria da qualidade desses produtos. Uma das principais propriedades das madeiras é a sua maior ou menor suscetibilidade em ser atacada por organismos xilófagos. Dentre estes, destacam-se os fungos apodrecedores os Basidiomicetos, responsáveis pela podridão parda e pela podridão branca, que possuem características enzimáticas próprias quanto à decomposição de alguns constituintes da madeira. Os primeiros decompõem os polissacarídeos da parede celular, e a madeira atacada apresenta uma coloração residual pardacenta. Os últimos atacam, indistintamente, tanto os polissacarídeos quanto a lignina. Nesse caso, a madeira atacada adquire um aspecto mais claro.

Segundo Santos (1992), a madeira sob ataque de fungos apresenta alterações na composição química, redução da resistência mecânica, diminuição de massa, modificação da cor natural, aumento da permeabilidade, redução da capacidade acústica, aumento da inflamabilidade, diminuição do poder calorífico e maior propensão ao ataque de insetos, comprometendo, dessa forma, a sua qualidade e inviabilizando a sua utilização para fins tecnológicos.

A madeira do cedro australiano (*Toona ciliata*) vem se destacando no Brasil devido às altas taxas de crescimento e boa adaptabilidade às condições edafoclimáticas brasileiras, principalmente nas regiões sudeste de Minas Gerais e sul da Bahia. Sabe-se que sua madeira é rica em extrativos, os quais podem ser positivos na questão de durabilidade natural.

Há, portanto, sério interesse na escolha da madeira para seu uso, verificando que a mistura de espécies mais duráveis com as menos duráveis pode ser uma saída no quesito prolongar a vida útil de seus subprodutos, evitando o uso de produtos químicos.

Contudo, o estudo da resistência da madeira e de painéis reconstituídos ao ataque de microorganismos, assim como a caracterização dos componentes anatômicos e químicos servem de base para a prevenção da degradação e a correta destinação para uso do material.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste foi avaliar a resistência de produtos à base da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*), quando submetidos ao teste acelerado de laboratório por fungos xilófagos de podridão parda e branca.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- ✓ Estudar a resistência da madeira sólida de cedro australiano;
- ✓ Estudar a resistência variando as espécies nas camadas dos painéis OSB e o efeito da resina fenol-formaldeído;
- ✓ Estudar a resistência dos painéis aglomerados misturando espécies, e o efeito da resina uréia- formaldeído;
- ✓ Análise química da madeira de cedro australiano;
- ✓ Caracterização anatômica da madeira de cedro australiano;
- ✓ Estudo da colorimétrica das amostras atacadas e não atacadas pelos fungos;
- ✓ Quantificação dos valores de lignina solúvel e insolúvel das amostras;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Painéis reconstituídos

A madeira sólida, quando reduzida em elementos de diversas formas e dimensões, pode gerar novos produtos de madeira através da sua reconstituição, utilizando métodos e processos adequados para cada tipo de produto e finalidade de uso. Na Figura 1 é mostrado um exemplo dos variados elementos derivados da madeira para a produção de produtos compostos.

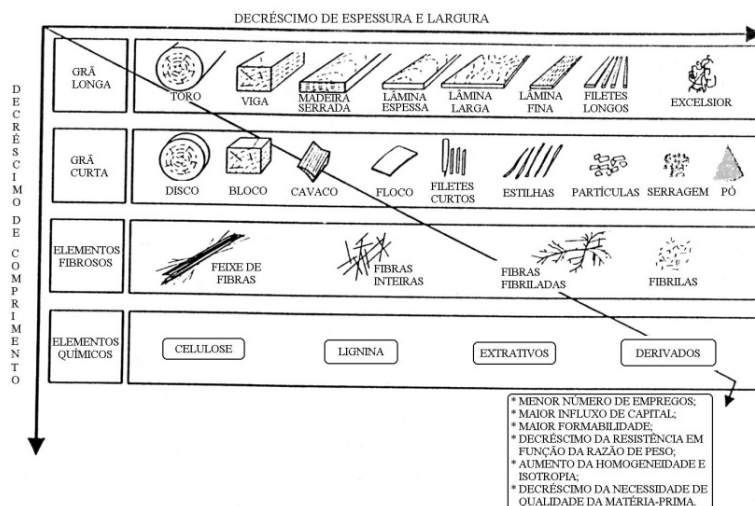


FIGURA 1 Tabela não periódica dos elementos de madeira.

Fonte: Marra (1992).

De acordo com a Tabela acima, podemos verificar vantagens em produzir painéis, como: menor exigência na escolha da matéria-prima, maior homogeneidade ao longo das peças, redução da anisotropia e eliminação de defeitos como nós, grã irregular, defeitos provenientes da secagem, entre outros.

Podemos exemplificar, através da Figura 2, um esquema representativo dos principais tipos de painéis de madeira reconstituída.

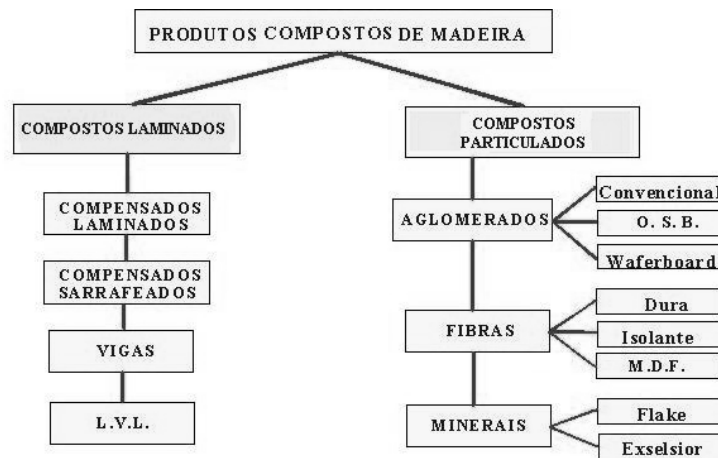


FIGURA 2 Esquema representativo de painéis de madeira reconstituída.
Fonte: Marra (1992).

Os painéis são produtos compostos de elementos de madeira, obtidos partir da redução da madeira sólida ou de materiais lignocelulósicos e reconstituídos através de ligação adesiva a uma dada temperatura e pressão (Iwakiri, 2005).

Esta ligação adesiva pode ser feita por vários tipos de adesivos como:

1. Uréia-formaldeído- mais utilizado na produção de aglomerados, destinados ao uso interno, devido a sua desvantagem de ser susceptível a degradação hidrolítica. Comparando com as outras matérias-primas, a uréia tem um menor preço, seu manuseio é simples, a cura é rápida e é incolor.
2. Fenol-formaldeído- seu uso se destina à produção de compensados à prova d'água, painéis de fibras, aglomerados estruturais *waferboard* e OSB. Por apresentar alta resistência à umidade é classificada como de uso externo.

Além de sua função adesiva, algumas resinas podem aumentar a resistência do painel ao ataque biológico, dependendo da sua especificação e quantidade. Alguns aditivos químicos são adicionados aos painéis, como a parafina empregada para reduzir a higroscopicidade das partículas melhorando a estabilidade dimensional do painel. E alguns preservantes contra fungos e

insetos, à base de boro nas proporções de 1 e 2%, são suficientes para melhorar a resistência contra fungos (Iwakiri, 2005).

Alguns autores, porém, relatam que a adição de determinados produtos químicos como o borato de cálcio influenciaram negativamente nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis (Jones, 2002). Boratos usados como preservantes em painéis de madeira colados com a resina fenol-formaldeído frequentemente reduzem o *gel time* da resina, gerando problemas na cura da resina (Sean et al., 1999).

Na literatura, há relatos do uso de mistura de madeiras de menor durabilidade como as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* com outras espécies, objetivando a melhora de suas propriedades físico-mecânicas e ou resistência a agentes biológicos, como estudadas por alguns autores (Behr & Wittrup, 1969; Evans et al., 1997).

3.1.2 Painéis aglomerados

Os painéis aglomerados caracterizam-se pela transformação da madeira ou de produtos lignocelulósicos em pequenas partículas que, secas e misturadas com resina sintética termofixa e distribuídas aleatoriamente entre si, são conformadas sob calor e pressão gerando um painel (Moslemi, 1974; Tsoumis, 1991).

Segundo Maloney (1993), entre outras variedades de painéis, os aglomerados têm a vantagem de apresentar um menor rigor quanto à escolha de matéria-prima, quando comparada a outras variedades de painéis. O autor relata que, na produção desse tipo de painel, pode ser utilizado material florestal de desbaste e poda, resíduos industriais grosseiros (costaneiras, sobras de destopo, miolos de toras laminadas), resíduos industriais finos (pó-de-serra e cavacos de plainas), cavacos de madeira resultantes do beneficiamento na indústria de

móveis e carpintaria ou, ainda, bagaço de cana-de-açúcar, palha de arroz, dentre outros resíduos agrícolas, puros ou misturados com partículas de madeira.

3.1.3 Painéis OSB (Oriented strand board)

Chapas de partículas orientadas (OSB) é um aglomerado de uso estrutural, produzido com partículas longas de formato retangular, encoladas com resinas fenol-formaldeído e/ou isocianato, consolidado através de prensagem a quente (Maloney, 1996). As partículas da camada interna podem estar dispostas aleatoriamente ou perpendicularmente em relação às camadas externas (Figura 3) (Lelles & Silva, 1998).

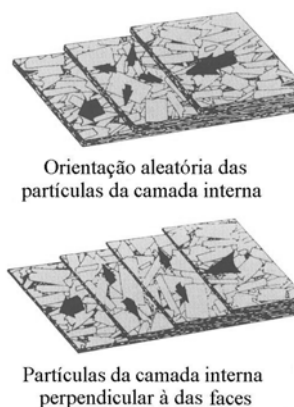


FIGURA 3 Composição estrutural das chapas “OSB”.
Fonte: Lelles & Silva (1998).

Os painéis reconstituídos de madeira estão substituindo alguns produtos tradicionalmente usados e muitos deles vêm ganhando espaço comercial, em virtude da melhor razão preço/desempenho (custo, benefício) e da crescente conscientização dentro da sociedade moderna em relação ao uso da madeira maciça.

3.2 Matéria-prima

3.2.1 Cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*)

O cedro australiano, também conhecido como cedrão, *Toona Ciliata* var. *australis*, pertence à grande família Meliaceae, é uma angiosperma de rápido crescimento, grande porte que pode alcançar cerca de 50m de altura e 2 m de diâmetro e que apresentou boa adaptabilidade às condições edafoclimáticas do Brasil. Sua origem é no leste da Austrália, desde Ulladulla, ao sul de Sidney, no Estado de Austrália New South Wales, até Atherton, no norte do Estado de Queensland (Grijpma & Ramalho, 1969, citados por Pinheiro et al., 2006). Segundo Lamprecht (1990), ela é largamente difundida entre os paralelos 15 e 25° N situados na Índia, Bangladesh, Birmânia, Tailândia, China Meridional, Indonésia, Malásia e Filipinas.

O tronco é retilíneo e às vezes bifurcado, exibindo sapopemas baixas (raízes laterais situadas na base da árvore), assimétricas e pouco desenvolvidas. Visualmente tem casca grossa, dura, com deiscência em placas retangulares e escamiformes, de coloração marrom-acinzentado (Pinheiro et al., 2006).

As folhas são alternas, paripenadas, com 25-45 cm de comprimento, folíolos ovais e lanceolados, opostos a subopostos e raramente alternos, com 7,5 a 20 cm de comprimento. Flores brancas, reunidas em panículas terminais pendentes, com pedúnculo levemente ciliado, actinomorfas, unissexuais, heteroclamídeas, pentâmeras, apresentando 3-4 mm de comprimento. Sementes com asas membranosas em cada extremidade, coloração marrom claro. Flores e frutas aparecem a partir de março a agosto (Lamprecht, 1990; Pinheiro et al., 2006; Malairajan, 2007).

Pode ser considerada uma madeira leve, com densidade básica de 0,337 g/cm³ relatado por Pereyra et al. (2006), e valores médios de módulo de ruptura e módulo de elasticidade de 468 Kgf/cm² e 65.118 kgf/cm², respectivamente.

Quanto à anatomia, Ziech et al. (2008) verificou a presença de vasos com porosidade em anéis semiporosos, em arranjos radiais com placas de perfuração simples, característicos de espécies da família *Meliaceae*. Os mesmos autores relataram que a composição química para *Toona ciliata* M. Roem de 4 anos em três regiões do Sul de Minas Gerais para os teores de holocelulose, lignina, extrativos e cinzas foram estimados em 64,13%, 20,31%, 14,87% e 0,89%, respectivamente, sendo o teor de extrativos totais elevado. Essa característica pode interferir na decomposição da madeira de cedro australiano, visto que várias pesquisas têm demonstrado que diversas madeiras com alta resistência natural devem esta característica à presença, em seu cerne, de substâncias, muitas vezes de origem fenólica, que apresentam propriedades fungicidas e inseticidas (Lepage, 1986). A durabilidade da madeira de *T. ciliata* foi confirmada no estudo de resistência ao ataque de cupins, cuja madeira teve um desgaste moderado, devido à alta mortalidade dos insetos, classificado como dano ligeiramente superficial (Gonçalves & Oliveira, 2006).

O cedro australiano é uma espécie promissora para plantações comerciais por causa da qualidade de sua madeira e imunidade ao broqueador das pontas (*Hypsipyla grandella* Zeller), que afeta os cedros nativos (Mangliavori et al., 2003). É muito procurada por sua granulação fina, cor avermelhada, e durabilidade natural. Seu alburno possui coloração clara e cerne marrom-avermelhado, exalando um agradável odor depois de serrada (Bygrave & Bygrave, 2005).

Atualmente, esta espécie vem se destacando no segmento de madeira serrada, na indústria de laminados, compensados e móveis, destacando-se, de modo particular, para a produção de caixas para charutos, instrumentos musicais e outras finalidades especiais (Lamprecht, 1990).

Sá et al. (2009) estudaram o potencial da madeira de *Toona ciliata* provenientes de quatro municípios na manufatura dos painéis compensados,

OSB, aglomerados e cimento-madeira. Os seus resultados revelaram um grande potencial da madeira, ressaltando cimento-madeira que atingiu todos os valores satisfatórios de acordo com a norma.

Por possuírem estas características além de outras específicas, a madeira do cedro australiano levantou um grande interesse dos pesquisadores, que buscam reaproveitar resíduos do processamento secundário madeireiro como: costaneiras, destopo bruto ou aplainado, assim como madeiras de desbaste, etc., de espécies alternativas para a produção de painéis reconstituídos de madeira.

3.2.2 *Eucalyptus* sp.

O gênero *Eucalypto* pertence à família Myrtaceae. Para Silva (2001), as espécies desse gênero apresentam alta adaptabilidade às condições edafoclimáticas brasileiras, o que refletiu diretamente em sua produtividade e, por conseguinte, no volume de áreas plantadas.

A composição química de madeiras do gênero *Eucalyptus* sp, segundo Hillis & Brown (1988), varia de 40 a 62% de celulose, 12 a 22% de hemiceluloses e de 15 a 25% de lignina. Já Trugilho et al. (2003) encontraram para as espécies *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* valores médios de extrativos totais, de lignina e de holocelulose de 6,71%, 31,77% e 61,52%, respectivamente.

Costa (1975) afirmou que a resistência ao apodrecimento na madeira de eucalipto se deve aos materiais polifenólicos, principalmente os elagitaninos, que são solúveis em metanol. Os teores de extrativos solúveis em metanol, determinados para madeiras de *Corymbia citriodora* e *E. paniculata*, por Oliveira & Della Lucia (1994), foram de 13,9 e 16,4%, respectivamente.

Cookson & Trajstman (1996) afirmaram que, enquanto algumas espécies de *Eucalyptus* são naturalmente duráveis, diversas outras importantes espécies, como o *E. regnans* e o *E. delegatensis*, não são. No entanto, Cookson

(2000) confirmou a dificuldade de penetração de substâncias preservantes no cerne da madeira de eucalipto. Daí a grande importância na escolha de espécies de eucalipto que possuam alguma durabilidade natural aos organismos xilófagos.

Lima (1996), estudando o comportamento das madeiras de *E. microcorys* e *E. pilularis*, de 21 anos de idade, quando submetidas ao ataque do fungo *Gloeophyllum trabeum*, concluiu que, nas árvores em que ocorreu a deterioração do cerne, houve tendência de redução da perda de massa na direção medula-casca e no sentido base-topo; a madeira mostrou-se altamente resistente a partir dos 6 cm da medula.

Segundo Araujo et al. (2005), a madeira de sete espécies de eucalipto se mostrou resistente ao ataque do fungo *G. trabeum*, por apresentar perda de massa média inferior a 10%. As madeiras das espécies *E. tereticornis*, *E. pilularis* e *E. grandis* foram as mais resistentes ao ataque do fungo, enquanto as madeiras das espécies *C. citriodora* e *E. cloeziana* foram as menos resistentes.

Quando se trata do comportamento da madeira de eucalipto submetida ao ataque de fungos apodrecedores, é comum a generalização de afirmativas pessimistas de seu desempenho, devido à carência de informações concretas ou de resultados de laboratório.

3.2.3 *Pinus* sp.

O gênero *Pinus*, pertencente à família Pinaceae, é composto por plantas lenhosas, em geral arbóreas, de altura que varia de 3 a 50 m. As plantas têm tronco reto, mais ou menos cilíndrico e copa em forma de cone. Possuem folhas em forma de acículas, agrupadas em fascículos. Sua madeira apresenta massa específica que varia de 400 a 520 kg/m³, a 15% de umidade. A cor da madeira do cerne varia do amarelo-claro ao alaranjado ou castanho-avermelhado (Lima et al., 1988). A composição química aproximada dos constituintes de madeiras de coníferas são: celulose de (42±2)%; hemicelulose de (27±2) %; lignina de

(28±3)% e extrativos de (3±2)% (Thomas, 1977; Sjöström, 1993). O teor e a proporção dos diferentes componentes encontrados nas madeiras variam com a espécie e, provavelmente, também de árvore para árvore.

Kim & Newman (1995) avaliaram a perda dos constituintes químicos da madeira de *P. koraiensis*, quando submetida ao ataque do fungo *G. trabeum*, utilizando a técnica de espectroscopia de ressonância nuclear magnética (RNM). A perda de massa foi de 32%, sendo 23% para a celulose, 2% para a lignina e os 7% restantes para outras substâncias (hemiceluloses, resinas e outras).

Kim et al. (1994) estudaram o efeito do apodrecimento da madeira de alburno de *Pinus* sp., provocado pelo fungo *G. trabeum*. Esses autores concluíram que a podridão parda teve efeito sobre a resistência à flexão da madeira.

Atualmente, a madeira de pinus é utilizada na fabricação de madeiras serradas e beneficiadas, laminados e compensados, aglomerados, MDF e OSB. No entanto, as estatísticas recentes têm demonstrado que a relação oferta/demanda da madeira de pinus está atingindo a exaustão e deverá, em poucos anos, faltar matéria-prima em condições adequadas para processamento industrial.

3.3 Biodegradação da madeira

A madeira, em geral por apresentar estrutura heterogênea e natureza anisotrópica, possui características próprias e limitações quanto a sua utilização. Em razão da sua composição química, anatômica e física, ela está sujeita à degradação por agentes físicos, químicos ou biológicos.

Dentre os decompositores destacam-se os fungos, que por meio da produção de enzimas extracelulares decompõem os diferentes constituintes da parede celular ou as substâncias do lúmen das células. A celulose está estruturalmente ligada com às hemiceluloses e à lignina, não sendo assim um

substrato facilmente acessível. Fisicamente, a celulose é material sólido e branco que existe no estado amorfo-cristalino. A forma cristalina é resistente ao ataque químico e à degradação microbiana enquanto que a forma amorfa é primeiramente atacada e degradada (Tavares, 2006). As hemiceluloses podem representar até 20% dos diferentes tipos de materiais lignocelulósicos. São estruturas compostas por açúcares na forma de pentoses e hexoses, facilmente hidrolisáveis. Já a lignina é formada por unidades de fenilpropano unidas por diferentes tipos de ligações (Rajaratnam & Bano, 1989), e muito resistente à degradação por microorganismos em condições naturais (Arora & Gill, 2000).

A madeira apresenta, além dos seus constituintes fundamentais que formam as paredes celulares, diversos outros metabólitos secundários depositadas no lúmen das células como as proteínas, amidos, lipídios, açúcares simples e também os extrativos.

Por ser um material biológico precisamos saber que a sua decomposição depende de uma série de fatores bióticos (vivos) e abióticos (não vivos), tais como as condições climáticas, a composição da comunidade decompositora, sua afinidade com o substrato e as características físicas e químicas do material a ser decomposto (Swift et al., 1979).

Existem vários fatores abióticos que determinam a aptidão de microorganismos em colonizar materiais lignocelulósicos como a umidade, a temperatura, o oxigênio, o pH, a reação do material, entre outros (Okino et al., 1997).

De acordo com Galvão & Jankowsky (1985), a umidade ideal para o desenvolvimento de fungos é aquela levemente acima do ponto de saturação das fibras (PSF), cerca de 30%, pois permite a abertura dos capilares, facilitando a penetração e a difusão de enzimas e suas reações na parede celular. Uma vez que as fases iniciais da degradação, tanto da celulose quanto da lignina e das hemiceluloses, ocorrem fora das células microbianas, é fundamental que as

enzimas possam penetrar nas paredes, bem como os produtos de decomposição possam ser trazidos até a célula. A água, neste caso, é, também, o veículo desta movimentação. De acordo com estudos de Alves & Mendes (2002), o fator mais importante no processo de deterioração por fungos é o teor de umidade da madeira, sendo este ótimo para o desenvolvimento da maioria dos fungos entre 40% a 75%, ou seja, acima do ponto de saturação das fibras.

Devido à baixa solubilidade do oxigênio na água, a umidade também influencia as condições de aeração do substrato. Quando muito úmido, os microorganismos anaeróbios são favorecidos e a decomposição é lenta. A baixa aeração explica, também, a grande durabilidade de madeiras não preservadas, utilizadas como estacas de fundações abaixo do nível do lençol freático (Lepage, 1986).

Os fungos xilófagos na madeira podem se desenvolver em concentração bem inferior a 20% encontrado no ar. Alguns deles conseguem sobreviver em atmosfera com apenas 1% de oxigênio. Contudo, de um modo geral, concentrações baixas de oxigênio restringem o desenvolvimento de fungos, enquanto que a ausência inibe seu ataque à madeira (Farmer, 1967).

Já a temperatura para o desenvolvimento de fungos xilófagos gira em torno de 25°C. O ataque pode ocorrer a temperaturas de 5 a 40°C podendo haver alguns fungos ainda ativos na madeira que eventualmente apresentem outros valores de temperatura (Stewart, 1969). Devido às diferentes espécies de microorganismos que apresentam diferentes tolerâncias e pontos ótimos de temperaturas, este fator pode influenciar intensamente a composição de espécies das populações que colonizarão o material nos diferentes estágios. Em temperaturas muito baixas, a taxa de metabolismo tende a ser menor e a velocidade de decomposição diminui.

Outro fator importante é o pH do substrato, que, na faixa de 4,5 a 5,5, é o ideal para o desenvolvimento de fungos xilófagos, que coincidem com os

valores de pH apresentados pela maioria das espécies de madeira. O mínimo valor de pH é de 2,0 e o máximo é pouco acima de 7,0 (Kirk, 1983; Oliveira, 1986).

Além do pH do substrato, é essencial saber a quantidade e qualidade dos extrativos que este possui, os quais conferem a durabilidade natural das madeiras. Eles são normalmente formados durante a transformação do alborno em cerne, alguns sendo de caráter fenólico e polifenólico, que se acumulam nos lúmens e/ou nas paredes das células, resultando, na maioria das vezes, numa coloração escura do cerne. Segundo Farmer (1967), a concentração de extrativos, com atividade fungicida, e, conseqüentemente, a resistência natural é maior nas partes externas do cerne e próximas à base da árvore, diminuindo em direção à medula e ao topo. Em algumas espécies, apenas um composto químico é o responsável pela resistência, enquanto em outras, vários compostos atuam de modo sinérgico, conferindo à madeira resistência característica. De acordo com Scheffer (1973), citado por Lepage (1986), a diminuição da resistência natural na direção radial parece ser devido à gradual conversão dos extrativos tóxicos em compostos de menos toxidez à medida que a árvore envelhece.

Além dos compostos aromáticos acumulados no cerne, a presença de canais resiníferos em gimnospermas (coníferas) pode conferir resistência a esses órgãos de sustentação, tornando-os, em diferentes graus, imunes às atividades de decompositores (Swift et al., 1979). Assim como citado por Burger & Richter (1991), a presença de materiais como sílica, alcalóides, taninos, normalmente de ocorrência mais acentuada no cerne dos troncos, aumenta a durabilidade natural da madeira, devido ao efeito tóxico que apresentam sobre os agentes deterioradores.

Em geral, as madeiras de alta massa específica, portanto, que apresentam uma estrutura menos porosa e frequentemente com elevado teor de extrativos impregnados nas paredes celulares são mais resistentes à ação destes

inimigos (Richter & Burger, 1978). Segundo estes autores, a grande quantidade de tecido parenquimático (raios e parênquima axial) proporciona baixa resistência natural à madeira, uma vez que se trata de tecido mole, de fácil penetração, e, sobretudo por atrair os agentes destruidores através dos conteúdos nutritivos armazenados em suas células (amidos, açúcares, proteínas, etc.).

Por outro lado, a orientação da grã numa peça de madeira tem um efeito importante na sua colonização por fungos. A colonização pelas faces transversais, na direção longitudinal, é menor que aquela observada nas faces tangenciais e esta maior que nas faces radiais (Levy, 1981, citado por Lepage, 1986).

Conhecida a atuação destes fatores no processo de decomposição da madeira, Cavalcante (1985) afirma que o comportamento da mesma madeira pode ser diferente em dois ambientes distintos, porque cada qual apresentará condições características de, por exemplo, umidade, insolação, aeração, temperatura etc. Esses fatores têm atuação sobre a madeira, determinando sua durabilidade.

Além dos vários fatores abióticos que influenciam diretamente na colonização da madeira por xilófagos, devemos saber sobre o sistema de degradação dos principais fungos os quais pertencem à classe dos Basidiomicetos (fungos superiores) seres heterotróficos, que necessitam de meios eficientes de segregação de enzimas digestivas extracelulares. São providos de talo pluricelular formado de hifas septadas. Seu micélio (fase vegetativa) pode ter crescimento indefinido ou formar, no estágio final de desenvolvimento, corpos frutíferos de estrutura constante. A estrutura reprodutora característica do grupo é o basídio, uma estrutura reprodutiva onde ocorre a meiose (Pelczar, 1997), que é a extremidade de uma hifa dilatada, uni ou pluricelular, e que emite ramificações, cada uma suportando em sua extremidade um esporo, ou basidiósporo. Os basidiomicetos superiores separam-

se em dois grupos: os himenomicetos e os gasteromicetos. Entre os primeiros estão os fungos que degradam madeira.

Os fungos são considerados importantes contribuidores vitais para os ecossistemas devido ao seu envolvimento na ciclagem dos nutrientes, já que a comunidade fúngica tem sido encarada, desde os primórdios da Ecologia, como decompositora da matéria orgânica, assumindo papel central no retorno dos nutrientes para os ecossistemas aquáticos e terrestres (Begon et al., 1996).

Os fungos Basidiomicetos são classificados de acordo com as diferenças de padrões de degradação da madeira que apresentam, levando-se em conta a característica macroscópica da degradação. Desta forma, podem ser divididos em fungos de podridão branca, podridão parda e podridão mole. Os fungos de podridão branca degradam três componentes principais da madeira, a saber, a celulose, a hemicelulose e a lignina, proporcionando coloração clara na sua degradação. Fungos de podridãoparda degradam polissacarídeos celulose e hemicelulose, observando-se uma coloração escura nos locais degradados.

3.3.1 Fungos da podridão branca da madeira

Os fungos de podridão branca, cerca de 94% dos Basidiomicetos, estão entre os poucos grupos de organismos capazes de despolimerizar, degradar e mineralizar todos os componentes das paredes da célula vegetal incluindo celulose, hemiceluloses e o mais recalcitrante deles, a lignina (Kersten & Cullen, 2007).

A madeira é altamente insolúvel, devido ao alto grau de polimerização dos seus constituintes, e, para que estes sirvam de fonte de energia para microorganismos, eles devem ser quebrados em moléculas menores e solúveis em água. Exigindo a produção de várias enzimas como as responsáveis pela degradação da celulose e das polioses que são hidrolases que apresentam certa especificidade pelo respectivo substrato, são produzidas as enzimas

extracelulares necessárias para a hidrólise completa da celulose a endo-1,4- β -glicanase que rompem a molécula ao acaso e liberam fragmentos menores; a exo-1,4- β -glicanase que hidrolisam pelas pontas os fragmentos menores; e 1,4- β -glicanase que hidrolisam a celobiose até a glicose (Ferraz, 2004).

Já as enzimas envolvidas na degradação da lignina são oxidases e, em geral, são pouco específicas. O ataque do fungo à lignina é um processo oxidativo aeróbio, onde são oxidados compostos fenólicos, metóxidos e alifáticos da lignina através do rompimento de anéis aromáticos e da criação de novos grupos carbonilo. Estas mudanças na estrutura da lignina resultam na produção de dióxido de carbono e sua despolimerização, o que provoca um afinamento gradativo da parede celular (Kirk & Farrell, 1987). Contudo, há uma progressiva perda de massa e das resistências físicas e mecânicas da peça atacada devido à destruição de celulose, hemicelulose e lignina. Apresentando-se mais clara e com a superfície atacada mais macia do que a madeira sadia (Lepage, 1986).

Nos estágios iniciais da degradação, as hifas colonizam os raios e vasos das folhosas, penetrando nas fibras e traqueídeos apenas em estágios posteriores de ataque. O transporte de célula para célula se dá através das pontuações ou pela penetração através da parede, devido às enzimas produzidas nos topos e superfícies laterais das hifas. Nos tecidos lignificados, as hifas permanecem no lúmen da célula e degradam a parede celular de dentro para fora, a partir da camada S3, provocando afinamento da parede (Lepage, 1986).

Os fungos de podridão branca degradam a lignina tanto seletivamente como não seletivamente. Na degradação seletiva, tanto a lignina como a hemicelulose são significativamente mais degradadas do que a celulose, enquanto que na degradação não-seletiva, quantidades iguais de todos os componentes lignocelulósicos são degradados (Worrall et al., 1997). Alguns fungos como *Ganoderma applanatum*, *Heterobasidion annosum* e *Phellinus pini*

são capazes de realizar ambos os tipos de degradação (Blanchette, 1984). A seletividade da lignina é característica de deterioração de vários fungos, dentre eles, *Ganoderma applanatum*, onde a madeira torna-se mais fibrosa pela ausência da lamela média rica em lignina e uma relativa falta das camadas secundárias da parede. A aparência é semelhante à de uma podridão mosqueada branca, primeiramente, com uma zona marrom, posteriormente branca e esponjosa (Rayner & Boddy, 1988). Isto também foi confirmado por Blanchette et al. (1989), estudando vários fungos, dentre eles *Ganoderma applanatum*. De acordo com estes autores, estes basidiomicetos decompõem preferencialmente grandes quantidades de lignina e pequenas de celulose e hemiceluloses. *G. applanatum* e *Ischnoderma resinosum* apesar de terem uma ação seletiva em relação à lignina em madeiras naturalmente expostas, em testes de laboratório com amostras pequenas, todos os componentes celulares foram removidos (Blanchette et al., 1985, citados por Highley & Illman, 1990).

Os Basidiomicetos ligninolíticos produzem enzimas associadas à degradação de duas peroxidases heme- glicosiladas: lignina peroxidase (LiP) e manganês peroxidase (MnP); além de uma fenol- oxidase cúprica, a lacase (lcc) de acordo com Pointing et al. (2005). Além dessas, eles também podem produzir celulases, xilanases e outras hemicelulases (Hatakka, 1994).

O autor acima confirmou que quase todos os fungos da podridão branca da madeira produzem enzima manganês peroxidase (MnP) e lacase, mas somente alguns produzem enzima lignina peroxidase (LiP).

Microscopicamente, ocorrem inúmeras mudanças na estrutura das células da madeira. A degradação da célula atacada por fungo de podridão-branca inicia-se no lúmen e progride em direção à lamela média. Ao mesmo tempo pode haver o aumento no diâmetro das pontuações, fissuras radiais na parede celular, separação entre células na região da lamela média, produção de

perfurações na parede celular e pequenas cavidades rombóides na parede secundária (Lepage, 1986).

3.3.2 O fungo *Trametes versicolor*

O mais comum habitante das madeiras, o *Trametes versicolor*, causador da podridão branca, pertence à classe dos Basidiomicetos, ordem Polyporales, família Polyporaceae (Alexopoulos et al., 1996).

É um cogumelo facilmente reconhecido pelo seu corpo frutífero (ou basidiocarpo) que se apresenta em forma de “cauda de peru”, como mostra a Figura 4.



FIGURA 4 O fungo *Trametes versicolor*.
Fonte: Tavares (2006).

Trametes versicolor é um dos mais eficientes fungos degradadores da madeira que promove a deterioração simultânea da lignina, celulose e hemiceluloses (Tanaka et al., 1999). As enzimas oxidativas extracelulares produzidas por este fungo iniciam o ataque à madeira.

De acordo com Swamy & Ramsay (1999), estudos realizados com fungos basidiomicetos da podridão branca, visando à descoloração e degradação

de efluentes têxteis, obtiveram resultados positivos. Observou-se a habilidade de degradação de poluentes recalcitrantes orgânicos como hidrocarbonetos, poliaromáticos, clorofenóis e bifenilas policlorados.

Os fungos de podridão branca, ou seja, os degradadores de lignina têm obtido crescente êxito em pesquisas relacionadas à biodegradação de poluentes, pois estes são capazes de transformar e mineralizar contaminantes ambientais como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, corantes azo, herbicidas e outros compostos tóxicos através da ação de suas enzimas extracelulares (Clemente, 2002).

3.3.3 Fungos da podridão parda da madeira

Os fungos de podridão parda ou castanha degradam os polissacarídeos através de um mecanismo diferente, neste caso a degradação conduz a mineralização dos polissacarídeos, mas a lignina não é solubilizada e permanece como um resíduo marrom amorfo (Aguiar & Ferraz, 2007).

A madeira com podridão parda apresenta o aspecto de estar levemente queimada, adquirindo coloração parda, apresentando inúmeras rachaduras perpendiculares e ao longo da direção das fibras, e colapsa com facilidade. A causa destas mudanças é a contínua degradação da celulose e hemicelulose, ficando a lignina praticamente intacta. Como no caso da podridão branca, há uma progressiva perda de massa e diminuição das resistências físicas e mecânicas (Lepage, 1986).

O mesmo autor relatou que, em nível microscópico, não ocorre degradação da célula da madeira na direção lúmen-lamela média como em podridão branca, pois a lignina residual mantém a estrutura da célula. A hifa, que se encontra no lúmen, secreta enzimas que se difundem através da parede celular, destruindo os carboidratos. Esta secreta também enzimas destruidoras de celulose, quebrando a estrutura cristalina por expansão intermolecular,

resultando na clivagem de algumas ligações de hidrogênio e co-valentes. Várias outras enzimas agem também sinergisticamente, quebrando e degradando a celulose não cristalizada em cadeias oligoméricas mais curtas e em unidades de celobiose (duas unidades de anidro-glicose), chegando, finalmente, a simples monômeros de glicose, que podem ser digeridos pelas hifas.

Quando a lignina residual já não suporta as forças às quais a célula está sujeita, ocorre o colapso da parede celular. Com isso, a podridão parda provoca uma diminuição nas características mecânicas da madeira mais rapidamente que a podridão branca, enquanto que a diminuição na massa específica, ao final do processo, é maior nesta última (Lepage, 1986).

Não se observa uniformidade no grau de ataque em células de uma mesma região, resultando disso as áreas colapsadas da madeira com podridão parda. A destruição dos carboidratos da parede celular pode acontecer primeiramente na camada S2 ou na camada S1, podendo haver a formação de pequenas cavidades rombóides na camada S2. O fungo também produz perfurações na parede celular (Apenitis et al., 1951).

Um exemplo de fungo apodrecedor de podridão parda é o *G. striatum*, o qual emite hifas pigmentadas, não ramificadas ou raramente ramificadas, geralmente de paredes grossas (Rayner & Boddy, 1988). Segundo Wetzstein et al. (1999), o mecanismo de deterioração baseado no radical hidroxil foi postulado como sendo o operante nesta espécie de fungo.

O mecanismo de “podridão parda” envolve secreção de substâncias como o ácido oxálico, o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e as celulasas. A madeira possui naturalmente ferro, que juntamente com o H_2O_2 promove o ataque oxidativo a estrutura da celulose (Schimdt, 1981, citado por Lepage, 1986).

Estes têm preferência por gimnospermas como substrato, enquanto os causadores de podridão branca degradam preferencialmente angiospermas, o que

pode explicar a sua preponderância nas áreas tropicais (Tuor et al., 1995). Nas coníferas, nos estágios iniciais de ataque, as hifas concentram-se nos raios. Após a exaustão dos nutrientes, as hifas passam a colonizar os traqueídeos através da destruição dos torus e, também, pela penetração direta através da parede, graças à produção de enzimas liberadas pelas extremidades e superfícies laterais das hifas. As perfurações na parede resultantes desta atividade podem ser expandidas à medida que o apodrecimento avança.

3.3.4 O fungo *Gloephyllum trabeum*

Pertencente à classe dos Basidiomicetes, este fungo causador da podridão parda causa em madeiras uma rápida perda de massa e rápida deterioração em folhosas e coníferas. As condições de crescimento deste fungo são: temperatura ideal 35°C, no máximo 40°C, embora Humphrey_(1993), citado por Eaton & Hale (1993), relatou de 44-46°C. As taxas de crescimento relatados variam de 6 a 11,4 milímetros no dia. Umidade ideal está entre 30-50%.

3.4 Biodegradação de painéis reconstituídos

Visto que a madeira sólida é susceptível ao ataque de microorganismos, os seus derivados, como os painéis a base de madeira, ou lignocelulósicos, como chapas de fibra, compensados, chapas de média densidade e aglomerado também são, o que torna primordial estudos acerca da resistência a exposição de fungos xilófagos. Os quais são os maiores responsáveis pela diminuição da vida útil dos subprodutos onde consomem basicamente celulose e lignina, principais constituintes da parede das células vegetais, diminuindo assim não só a resistência mecânica, como também o seu peso. São vários os fatores que podem influenciar na adaptabilidade da colonização dos fungos, alguns trabalhos relacionados estão citados abaixo.

Estudos conduzidos por Schmidt et al. (1978) mostram que, além da espécie utilizada, a geometria das partículas, a estrutura, o tipo e a proporção de adesivos empregados na confecção das chapas também influenciam na sua susceptibilidade ao ataque de microorganismos.

Okino et al. (2009a) avaliaram a resistência de painéis OSB da madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis*) variando o teor e o tipo de resina ao ataque de fungos de podridão parda e branca. A resina fenol-formaldeído proporcionou maior resistência à ação dos fungos comparada à uréia-formaldeído, assim como o maior teor.

Okino et al. (2007) avaliaram a resistência de chapas de partículas OSB de *Pinus taeda* L., *Eucalyptus grandis* e *Cupressus glauca*, confeccionadas com as resinas uréia-formaldeído (UF) e fenol-formaldeído (FF) a 5% e a 8% de sólidos resinosos, a biodegradação causada pelos fungos de podridão-parda *G. trabeum* e *Lentinus lepideus* e os fungos de podridão-branca *T. versicolor* e *G. applanatum*. Concluíram que a resina FF foi mais eficiente do que a UF. Chapas orientadas com maior teor de resina foram menos atacadas do que as chapas com menor teor. As perdas de massa foram observadas em ordem crescente para as chapas de eucalipto, cipreste e pinus. Todas apresentaram maior perda de massa quando expostas ao fungo *G. trabeum*, com exceção das chapas orientadas de eucalipto.

Em pesquisa realizada por Evans et al. (1997), chapas aglomeradas produzidas com mistura de *Pinus radiata* e cipreste branco (*Callitris glaucophylla*) mostraram maior durabilidade ao ataque de fungos xilófagos quando comparadas com aquelas contendo apenas pinus. Segundo os autores, o uso de espécies naturalmente mais resistentes ao ataque de microorganismos, como o cipreste, é mais vantajoso do que a utilização de produtos químicos preservativos na confecção de painéis aglomerados.

Okino et al. (2004) confeccionaram chapas de partículas e de *flakes* usando a madeira de cipreste (*Cupressus* spp.), as quais foram submetidas ao ataque de fungos de podridão branca e parda. Os resultados indicaram que as chapas foram classificadas como resistentes ao ataque de *G. trabeum* e altamente resistentes ao ataque de *T. versicolor*.

Okino et al. (2003) confeccionaram e testaram painéis do tipo *flakeboard* usando quatro clones de seringueira. Estes mostraram-se moderadamente resistentes quando expostos aos fungos *G. trabeum* e *T. versicolor*, resistentes ao fungo *Ganoderma applanatum* e altamente resistentes quando expostos ao fungo *Lentinus lepideus*.

Okino et al. (2002) estudaram a resistência da madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis*) à biodegradação com os fungos *G. trabeum* e *T. versicolor*, para seis clones distintos, além de chapas aglomeradas com 10% de uréia-formaldeído e de cimento-madeira. A madeira de seringueira foi classificada como "moderadamente resistente", assim como as chapas aglomeradas. As chapas de cimento-madeira foram classificadas como "altamente resistentes". O tipo de clone, o tipo de partículas e o tipo de tratamento destinado às partículas não produziram efeitos significativos na degradação causada pelos fungos xilófagos.

Behr & Wittrup (1969) confeccionaram chapas aglomeradas com mistura de *Sequoia sempervirens*, *Thuja occidentalis* e *Pinus banksiana* e submeteram ao ataque do fungo *Lenzites trabea*. As chapas na proporção de até 75% de pinus e 25% sequóia foram resistentes, e aquelas com até 65% de pinus e 35% de thuja também foram resistentes. A mistura de sequóia e pinus em uma dada razão mostrou-se mais resistente do que a mistura com thuja e pinus.

3.5 Colorimetria

A importância da determinação da cor da madeira pode ser resumida em três aspectos conforme Janin (1986), citado por Gonzalez (1993):

1. Como ciência florestal, numa visão futura - um maior estudo sobre os fatores que influenciam a cor permite conhecer melhor as espécies e sua silvicultura, composição química, anatomia e morfologia.
2. Do ponto de vista tecnológico - a cor permite uma classificação de madeira para serrar e para laminar.
3. Aspecto econômico - o preço de um m² de lâmina pode variar de 1 a 5 vezes ou mais, dependendo da espécie, do aspecto e da cor da madeira. O alto valor da madeira do carvalho, por exemplo, usado em compensado depende de sua cor: quanto mais clara, mais é apreciado.

Burger & Richter (1991) mencionam que a cor e o desenho estão intrinsecamente relacionados com a anatomia da madeira. Fatores como espessura e orientação de fibras, quantidade de parênquima axial, largura de raios, diâmetro, distribuição e frequência de poros e outros, contribuem sobremaneira para a figura e a cor da madeira. Além desses fatores, destacam também o regime de crescimento da árvore e os tratamentos silviculturais que provocam o surgimento dos nós, de canais traumáticos e de irregularidade dos anéis de crescimento.

Gonzalez (1993) afirma que vários fatores podem influenciar na cor da madeira, tais como: composição química, anatomia, método de derrubada, posição da amostra na árvore, espécie, altura e diâmetro da árvore, qualquer fator relativo ao meio ambiente e idade da árvore, além dos fatores genéticos.

Quando se trata da cor da madeira, a figura e a textura exercem grande influência na definição das cores. Isso pode ser avaliado quando são considerados os elementos anatômicos e os extrativos da madeira como componentes importantes na formação da cor (Camargos, 1999).

Segundo Mady (2000), a cor da madeira deriva da composição química das substâncias presentes no xilema: taninos, fenóis, flavonóides, estilbenos, quinonas e outros. Essas substâncias é que conferem cores diferenciadas ao lenho. A cor, entretanto, não é estável em uma madeira, uma vez que ela tende a alterar-se com o passar do tempo, escurecendo devido à oxidação causada principalmente pela luz, que reage com os componentes químicos, tais como a lignina.

Uma das formas mais recentes de classificar e caracterizar a madeira é a colorimetria, a qual está baseada no sistema CIELAB, o mais utilizado para quantificação e medição da cor. A colorimetria é uma técnica que foi adaptada para ser aplicada à madeira e derivados, através da metodologia do uso de coordenadas cromáticas. Isto eleva a qualidade do material pelo aspecto particular cor, além de permitir separar as madeiras em grupos de tonalidade, facilitando a aquisição e uso específico (Mori et al., 2004). Utilizando para as suas leituras a fonte de luz e iluminação padrão a fim de evitar as oscilações de iluminação do dia, e com a mesma sensibilidade correspondente à do olho humano, o colorímetro ou espectrofotômetro percebe e registra as minuciosas diferenças de cores (Mori et al., 2005).

O sistema CIE-L*a*b*, que inclui um espectrofotômetro de reflexão no visível, foi desenvolvido pela *Comission International d'Eclairage* – CIE para, rapidamente, controlar a qualidade e reproduzir a coloração de produtos industrializados. O sistema tem encontrado ampla aplicação em plásticos, tecidos, tintas (Billmeyer, 1981), alimentos (Dufossé et al., 2001) e bebidas (Sapers, 1994). Na área de análise química, foi utilizado para otimizar métodos de titulação (Krishna-Prasad et al., 1996).

Os espectrofotômetros medem a reflectância de uma amostra e de um branco padrão nos mesmos comprimentos de onda, o que leva à porcentagem de luz refletida pelo objeto em função de um padrão, segundo Michot (1994),

citado por Mori et al. (2005). A tecnologia para determinação quantitativa da cor vem evoluindo ano a ano, fazendo da propriedade cor um fator chave na qualidade da madeira, podendo ainda ser utilizada, como em estudo descrito por Thompsom (2006), para avaliar propriedades mecânicas (MOR e MOE) de painéis de partículas orientadas de madeira. Gonzalez et al. (2001) citam que o sistema CIELAB fornece um espaço mais uniforme da distribuição das cores. A sensação da cor está baseada em três elementos: a claridade ou luminosidade, a tonalidade ou matiz e a saturação ou cromaticidade. As diferenças de cor entre os objetos podem ser expressas pelas distâncias geométricas regulares entre os pontos medidos nos três eixos retangulares: L^* , a^* e b^* .

Os mesmos autores mencionam que a claridade ou luminosidade (L^*) define a escala padrão cinza entre o branco e o preto variando de 0 (preto total) a 100 (branco absoluto).

A tonalidade é dada pelas cores vermelho, verde, amarelo e azul, definidas pelas variáveis a^* e b^* , na qual seus valores encontram-se na faixa de 0 a 60 (unidimensional).

A variável a^* posiciona a cor do objeto no eixo verde-vermelho. Se a^* é negativo, o objeto reflete cores no verde e no amarelo-verde, caso contrário, a^* positivo, o objeto reflete cores no laranja e no vermelho. A variável b^* descreve a cor do objeto no eixo amarelo-azul. Se b^* é positivo, significa que sua cor está próxima do amarelo. Um valor de b^* negativo indica que a cor está próxima do azul. A tonalidade pode ser dada também pelo ângulo do círculo, interpretada pela variável h^* , a qual informa o ângulo da tinta. Ligam-se pontos de cores no espaço CIELAB, com a origem do sistema de coordenadas. O ângulo constituído por esta reta e pelo eixo a^* é chamado de h^* . A variável C mostra o valor da saturação ou cromacidade da cor. Os casos onde C é nulo indicam uma cor que se encontra sobre o eixo da luminosidade e é descrito com a ajuda do valor de L^* , chamando-o de cor cinza. Um valor de C muito elevado indica uma cor

fortemente saturada. Quanto mais distante do eixo, mais saturada será a cor. Esta variável também apresenta valores no intervalo de 0 a 60 (unidimensional).
Através da Figura 5 pode-se visualizar o espaço colorimétrico proposto pelo CIELAB.



FIGURA 5 Espaço colorimétrico CIELAB.
Fonte: González & Macedo (2003).

As cores de 98 espécies amazônicas foram estudadas por Vetter et al. (1990), que compararam o método de avaliação de cor visual Munsell com o colorimétrico. Camargos & González (2001) mediram a coloração de 350 espécies brasileiras e reuniram-nas em 33 grupos de cores homogêneas com o objetivo de confeccionar uma tabela de cores para facilitar a comercialização. A diferença de cor causada pela variação do sentido do corte (tangencial, radial e transversal) de amostras de várias essências tropicais foi quantificada por González et al. (2001).

De acordo com os referidos autores, o estudo da cor e do desenho da madeira é ponto fundamental para entender a subjetividade pertinente a estas características.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado neste trabalho foi a madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem) com idade de 18 anos, oriunda de Marechal Floriano, ES. O Município de Marechal Floriano está localizado na região Sudeste do Brasil, situa-se na região das montanhas, ficando apenas a 45 km da capital do Espírito Santo, Vitória. Sua área territorial é de 284,84 km² e as coordenadas geográficas são: latitude 20°24'48" e longitude 40°40'26". A altitude média é de 544 metros. O relevo do município é montanhoso e acidentado. O clima é tropical de altitude, com temperatura amena durante a maior parte do ano (Marechal Floriano, 2008).

4.1 Análise química

Foram feitas as análises químicas das partículas do tipo *strand* oriundas das costaneiras da madeira de cedro australiano no Laboratório de Química da Madeira, UFLA. A amostragem foi feita por quarteamento, em seguida as partículas foram moídas em moinho tipo Wiley. A classificação foi feita por meio de um conjunto de peneiras, sendo que o material usado foi aquele que passou na peneira de abertura 40 mesh e ficou retido na peneira de abertura 60 mesh. As amostras foram então acondicionadas em sacos plásticos e mantidas em câmara climática com umidade relativa de (65±3)% e temperatura de (20±1)°C até alcançarem a umidade de equilíbrio. Foram determinados os teores de lignina, extrativos totais, teor de cinzas e holocelulose.

Seguindo as normas para determinação dos principais componentes químicos:

- Teor de extrativos totais – ABTCP M 3/69;
- Teor de lignina – ABTCP M 10/71;
- Teor de cinzas – ABTCP M 11/77;
- Teor de Holocelulose – determinado por diferença.

4.2 Caracterização anatômica da madeira do cedro australiano

Para a caracterização anatômica foram utilizadas três árvores de cedro australiano. De cada árvore foi retirado um disco no DAP e de cada disco retirou-se três corpos-de-prova para o estudo anatômico.

Os corpos-de-prova foram colocados em dessecadores com água para completa saturação e, conseqüentemente, amolecimento do material, por 72 horas. Utilizou-se o sistema de vácuo, intermitente, para acelerar o processo. Os cortes histológicos nos planos transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial foram adquiridos com o auxílio de um micrótomo de deslize, marca *Reichert* modelo Jung SM2000, com espessura média de 18 µm. Depois de obtidas, as secções foram cuidadosamente mantidas entre lâminas umedecidas com água destilada e glicerina, até o momento de confecção das lâminas permanentes.

Utilizou-se a metodologia descrita por Burger & Richter (1991) para a confecção das lâminas. Os cortes foram clarificados em hipoclorito de sódio a 2,0%, depois lavados em álcool a 20%. Em seguida, foram corados com safranina hidroalcoólica (proporção 1g de safranina para 50ml de álcool e 50ml de água destilada); desidratados em série alcoólica progressiva: 50%, 70%, 80%, 100%, álcool 100% e acetato de butila na proporção 3:1, 1:1 e acetato de butila 100%, sendo as lâminas coladas com Entellan.

Pelo método de Franklin (1945), foi feita a dissociação dos elementos celulares, que consta de solução de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio na proporção de 1:1(v/v). O material ficou em contato com a solução por um período de 24 horas em estufa à temperatura de 60°C, sendo lavado, posteriormente, com água destilada em abundância, para a retirada completa da solução macerante. Adicionou-se safranina hidroalcoólica no macerado, juntamente com água na proporção 6:1 (v/v) para facilitar a visualização dos elementos da madeira.

Com o auxílio do software *Wincel Regent PRO*, de concepção canadense sob uma base amostral de 30 medições de cada característica, realizou-se a mensuração dos constituintes celulares do lenho. Adotou-se a terminologia recomendada por International Association of Wood Anatomy-IAWA (1989), em que os caracteres anatômicos do lenho foram descritos com o auxílio de um microscópio ótico *Ken-A Vision* modelo *TT-1010*, no Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

4.3 Material de estudo para biodegradação

Amostragem

Os tratamentos submetidos ao ensaio acelerado de laboratório foram a madeira sólida de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem.), os painéis aglomerados e OSB produzidos com a mesma madeira pura e misturadas, na Unidade Experimental de Painéis de Madeira- UEPAM/UFLA com 9% das resinas UF (uréia-formaldeído) e FF (fenol-formaldeído) cujo teor de sólidos totais foi de aproximadamente 50% para ambas as resinas. Os painéis OSB de cedro australiano foram confeccionados com partículas previamente tratadas em água fria por 24h e oriundas da região mais externa, as costaneiras. Sabe-se que a água fria extrai substâncias como gomas, taninos, corantes e açúcares e, devido a este fato, em um estudo prévio houve uma retirada em média de 7% de extrativos da madeira do cedro australiano. Isto pode ser um fator negativo quanto à durabilidade da madeira.

A Tabela 1 apresenta o plano experimental adotado neste trabalho.

TABELA 1 Plano experimental arranjado neste trabalho.

Tratamento	Descrição	Código	Proporção [%]
T1	Madeira sólida de cedro australiano		-
T2	Painel aglomerado de cedro australiano puro	c	100
T3	Painel aglomerado com mistura de cedro australiano e pinus	cp	50;50
T4	Painel aglomerado com mistura de cedro australiano e eucalipto	Ce	50:50
T5	Painel OSB de cedro australiano	C	100
T6	Painel OSB de pinus	P	100
T7	Painel OSB de eucalipto	E	100
T8	Painel OSB com mistura de cedro e pinus	CPC	25:50:25
T9	Painel OSB com mistura de pinus e cedro	PCP	25:50:25
T10	Painel OSB com mistura de cedro e eucalipto	CEC	25:50:25
T11	Painel OSB com mistura de eucalipto e cedro	ECE	25:50:25

FF=resina fenol-formaldeído, UF=resina uréia-formaldeído, C ou c = cedro; P ou p = pinus; E ou e = eucalipto. Densidade nominal: cedro=0,32g/cm³; OSB=0,62 g/cm³; Aglomerado= 0,70 g/cm³

4.3.1 Delineamento Experimental

Foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado com 9 repetições. De cada tratamento retirou-se 24 corpos-de-prova sendo 9 para o ensaio com fungo de podridão branca, 9 para o ensaio com fungo de podridão parda e 6 para blocos de correção. Foram ensaiados 11 tratamentos, resultando num total de 264 corpos-de-prova.

4.4 Ensaio acelerado de laboratório

O ensaio de apodrecimento acelerado foi realizado na Área de Biodegradação e Preservação da Madeira, do Laboratório de Produtos Florestais

- LPF do Serviço Florestal Brasileiro, em Brasília, DF. Baseou-se na metodologia proposta pela norma ASTM D 2017 (American Society for Testing and Materials-ASTM, 2005), com algumas modificações, relatadas abaixo.

4.4.1 Preparação dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova foram preparados no Laboratório de Usinagem da Madeira da Universidade Federal de Lavras – UFLA. Para cada painel foram preparados 24 corpos-de-prova, nas dimensões de 25 x 25 x 15 mm (comprimento, largura e espessura, respectivamente). Para madeira sólida utilizou-se aleatoriamente corpos-de-prova do disco no DAP, suas dimensões foram 25 x 25 x 9 mm, sendo as fibras a menor dimensão paralela.

Todos os corpos-de-prova foram numerados com caneta de escrita permanente, identificando o tratamento e o número do corpo-de-prova. Figura 6.



FIGURA 6 Corpo-de-prova numerado.

No LPF, o material foi acondicionado em estufa com circulação forçada de ar a 50°C, onde alguns corpos-de-prova tiveram seus pesos monitorados até atingirem massa constante. Posteriormente, as amostras foram pesadas em balança analítica com resolução de 0,0001g, e o resultado registrado com Mi (massa inicial). Após a pesagem inicial, os corpos-de-prova foram esterilizados em autoclave a 121°C por 45 minutos.

4.4.2 Fungos xilófagos e ensaio de apodrecimento

Foram empregadas duas espécies de fungos xilófagos provenientes da coleção do LPF: *Trametes versicolor* (Linnaeus ex Fries) Pilat, (podridão branca); e *Gloeophyllum trabeum* (Persoon. ex Fries.) Murr. (podridão parda). Os fungos foram repicados em meio de cultura malte líquido a 3 %, e levados à incubadora (26 ± 1)°C e (70 ± 5)% de umidade relativa, até o micélio recobrir totalmente a superfície do meio, que durou aproximadamente três semanas. Figura 7.



FIGURA 7 Meio de cultura malte com *Trametes versicolor*.

Foram utilizados frascos de vidro transparente, com boca larga e tampa rosqueável e capacidade de 250 mL, contendo 100 g de solo (horizonte B), livre de matéria orgânica. O solo foi corrigido obtendo-se um pH de 6,0. O teor de umidade do solo foi ajustado para 130% da capacidade de retenção de água do solo, com a adição de 41 ml de água deionizada em cada frasco de vidro.

Em cada frasco foi colocada uma placa suporte de 33 x 29 x 3 mm para o desenvolvimento inicial do fungo. Foram utilizadas placas suporte de pinus (*Pinus* sp.), para o fungo *Gloeophyllum trabeum*, e placas de embaúba (*Cecropia* sp.) para o fungo *Trametes versicolor*. Os frascos foram autoclavados a 121°C por 45 minutos.

No momento da inoculação o meio de cultura líquido foi homogenizado e em seguida cada frasco foi inoculado com 2 ml de meio de cultura contendo o micélio fragmentado, que foi depositado diretamente sobre a placa suporte.

Após a inoculação com os fungos, os frascos foram levados à incubadora ($26 \pm 1^\circ\text{C}$ e $(70 \pm 5)\%$ de umidade relativa, até o micélio cobrir totalmente a placa suporte, num período de 2 semanas. Figura 8.

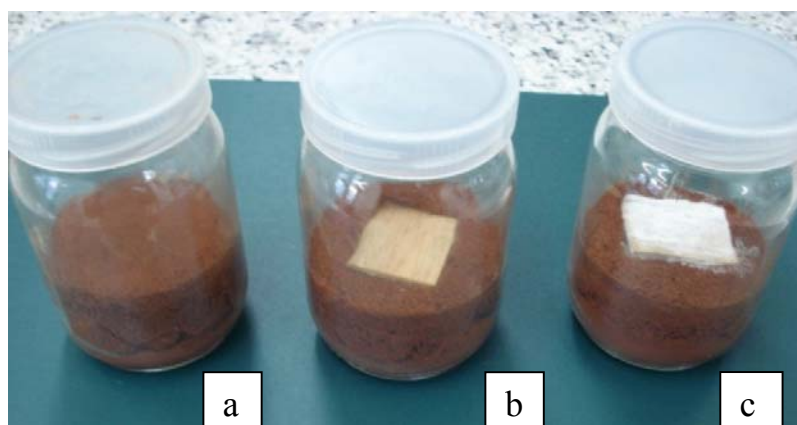


FIGURA 8 Frascos de ensaio. a) Sem a placa suporte; b) com a placa; c) placa recoberta por micélio.

Após a colonização das placas suporte, colocou-se um corpo-de-prova em cada frasco de ensaio. Foram ensaiados 9 corpos-de-prova por fungo para cada tratamento.

As amostras permaneceram em contato com os fungos por 12 semanas na câmara climática em condições já descritas. Figura 9 e 10.



FIGURA 9 Amostras na câmara climática.

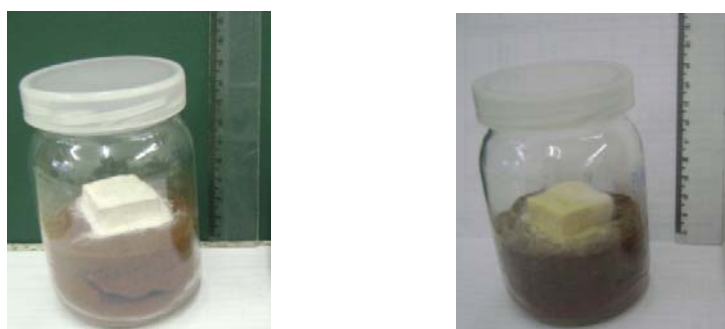


FIGURA 10 Corpo-de-prova coberto por micélio *Trametes versicolor* e pelo micélio do *Gloeophyllum trabeum*.

Encerrado o período de apodrecimento, os corpos-de-prova foram retirados dos frascos de vidro e submetidos a uma limpeza cuidadosa para a remoção do excesso de micélio aderido. Posteriormente, foram condicionados em estufa, sob as mesmas condições pré-ensaio. Após atingirem massa constante, os corpos-de-prova foram novamente pesados para determinação da massa final (M_f).

4.4.3 Blocos de correção

Para cada tratamento, seis corpos-de-prova foram introduzidos em frascos de ensaio não inoculados (sem fungos) e receberam o mesmo tratamento e manipulação dos demais. Os blocos de correção têm como objetivo determinar a perda de massa resultante da manipulação dos corpos-de-prova, não causada pela ação dos fungos.

4.4.4 Espécies de referência

Foram utilizados 16 corpos-de-prova (25 x 25 x 9 mm) de pinus (*Pinus* sp.) como espécie de referência para o fungo *G. trabeum* e 16 corpos-de-prova de embaúba (*Cecropia* sp.) para o fungo *T. versicolor*. Totalizando 32 corpos-de-prova. Figura 12.



FIGURA 11 Corpos-de-prova de referência, embaúba e pinus.

Os corpos-de-prova de referência são indicadores do vigor vegetativo da cultura fúngica utilizada no ensaio e das condições de incubação. Segundo a norma D-2017 (ASTM, 2005), o teste é considerado válido somente quando o fungo provoca perda de massa de 50% sobre a espécie de referência, num período de até 16 semanas.

A seleção das espécies de referência levou em consideração a existência de dados de vários ensaios realizados no LPF, que comprovam serem estas espécies susceptíveis aos fungos utilizados.

4.4.5 Determinação da perda de massa

A partir dos valores de massa inicial e final foi calculada a perda de massa dos corpos-de-prova conforme a equação 1:

Equação 1:

$$PMt(\%) = (Mi - Mf) / Mi \times 100$$

Onde: PMt = perda de massa total

Mi = peso inicial

Mf = peso final

Inicialmente foi determinada a perda de massa individual de cada corpo-de-prova, e posteriormente calculada a perda de massa média do tratamento (média aritmética).

A perda de massa final de cada tratamento foi determinada conforme a equação 2.

Equação 2:

$$PM = PMt - Pmc$$

Onde:

PM = Perda de massa final do tratamento

Pmt = Média de perda de massa total do tratamento

Pmc = Média de perda de massa dos blocos de correção do tratamento

Com base na perda de massa final, os tratamentos foram classificados quanto à resistência ao ataque dos fungos, segundo os critérios estabelecidos da D 2017 (ASTM, 2005), apresentado na Tabela 2.

TABELA 2 Classes de resistência ao apodrecimento segundo a norma D-2017 (ASTM, 2005).

Classe de Resistência	Perda de Massa (%)	Massa Residual (%)
Altamente Resistente (AR)	0 – 10	90 – 100
Resistente (R)	11 – 24	76 – 89
Moderadamente Resistência(MR)	25 – 44	56 – 75
Não-Resistente (NR)	> 45	> 55

4.5 Determinação da cor das madeiras

Para determinação da cor dos tratamentos antes e após o ataque dos fungos foi empregada uma técnica de refletância difusa no intervalo visível do espectro eletromagnético, conforme a metodologia adotada por Gonçalves (1993).

Os dados colorimétricos dos corpos-de-prova foram determinados no Laboratório de Anatomia da Madeira do LPF, após a estabilização da massa dos mesmos, utilizando o espectrofotocolorímetro Datacolor International Microflash – Model 200d, adaptado a um microcomputador, com resolução de 3 nm, equipado com uma esfera integradora de refletância difusa (Figura 12).

O iluminante utilizado foi o D65, uma lâmpada de xenônio que simula a radiação solar diurna, com um ângulo de observação de 10° em temperatura ambiente. Em cada corpo-de-prova foram realizadas 25 leituras, utilizando-se o valor médio destas medições para determinar os parâmetros colorimétricos e construir a curva de reflectância.



FIGURA 12 Espectrofotocolorímetro Datacolor Microflash 200d.

A metodologia adotada para a determinação dos parâmetros colorimétricos foi o sistema CIELAB, conforme Camargos (1999). Os parâmetros colorimétricos determinados foram: L* (claridade ou luminosidade), coordenadas a* (matizes do eixo vermelho – verde), b* (matizes do eixo amarelo – azul).

Para determinar as alterações na cor da madeira após o ataque dos fungos utilizou-se a variação total da cor (ΔE^*), metodologia que leva em conta as diferenças das coordenadas cromáticas e de luminosidade, fornecendo uma visão mais ampla sobre o desempenho das madeiras sob ataque dos fungos. A utilização desse parâmetro é adotada por diversos autores, como Müller et al. (2003) e Pastore et al. (2004), é expressa pela equação 3.

Equação 3:

$$\Delta E = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$$

Onde:

ΔL^* = variação da luminosidade (amostra tratada)

Δa^* e Δb^* = variação das coordenadas cromáticas (amostra tratada menos testemunha).

Os dados colorimétricos foram coletados em duas etapas: após as amostras, sem o ataque dos fungos, terem atingido teor de umidade de equilíbrio em sala climatizada, e após terem sido submetidas ao ataque dos fungos apodrecedores por doze semanas nas mesmas condições de estabilização.

4.6 Determinação da lignina solúvel e insolúvel

Para a determinação da lignina solúvel e insolúvel utilizou-se todos os corpos-de-prova, atacados e não atacados (controle), no Laboratório de Química do LPF- DF. Dessa forma, totalizaram 11 tratamentos expostos ao fungo de podridão branca, 11 tratamentos expostos ao fungo de podridão parda e 11 tratamentos controle (sem a exposição aos fungos). De cada corpo-de-prova foram retiradas lascas, e no caso das amostras atacadas somente da superfície atacada, com auxílio de um estilete. O material foi cominuído em moinho universal M20 IKA, classificado e usado aquele que passou na malha de 42 mesh e ficou retido na malha de 60 mesh (Technical Association of the Pulp and Paper Industry-TAPPI, 1996a).

Foi usada a metodologia descrita na norma T204 om-88 (TAPPI, 1996b) para a obtenção de material livre de extrativos. Resumidamente, aproximadamente 3g de amostra classificada e codificada foi extraída sequencialmente nos solventes etanol:tolueno (1:2, v/v), etanol por intermédio de extratores soxhlet. Após seco, o material foi lavado em água quente, para enfim dispor de amostras livres de extrativos.

Foram determinados os teores de lignina solúvel e insolúvel, por meio da hidrólise ácida da amostra livre de extrativo, seguindo a metodologia descrita

na norma NREL LAP-004 e NREL LAP-003, respectivamente. Foram determinados os teores de umidade das amostras livres de extrativos que foram conduzidas em estufa a $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ até obterem massa constante.

Para as análises das ligninas pesou-se $(0,300 \pm 0,001)\text{g}$ de cada amostra, em tubos de ensaio e em duplicata, adicionando-se, em seguida, $(3,0 \pm 0,01)\text{mL}$ da solução de ácido sulfúrico 72%, macerando o material com bastão de vidro por aproximadamente um minuto. Manteve-se os tubos de ensaio com a mistura em banho-maria a temperatura constante de $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$ por 2 horas, macerando-a de 15 em 15 minutos. Após esse período, as amostras foram retiradas do banho-maria e transferidas para frascos de penicilina de capacidade de 100mL, acrescentando-se em cada amostra 84mL de água deionizada de modo que a concentração final de H_2SO_4 na amostra reduzisse a 4%. Os frascos de penicilina foram vedados com lacre de metal e levados para a continuação da hidrólise em autoclave a $(120 \pm 1)^\circ\text{C}$, 60 minutos por duas horas. Após a autoclavagem das amostras, as mesmas foram retiradas e mantidas a temperatura ambiente. A seguir, a fim de prosseguir com a filtração a vácuo da amostra em cadinho filtrante de porosidade fina ($n^\circ 4$), previamente pesada, o material retido nos cadinhos filtrantes foram lavados com água deionizada a quente, sendo levados para a estufa até atingirem o peso constante, quantificando-se o teor de lignina insolúvel presente na amostra.

A lignina solúvel foi obtida do filtrado, ou seja, do líquido remanescente da filtração da lignina insolúvel, e foi analisada logo a seguir em um espectrofotômetro UV, marca FEMTO, cuja absorbância foi medida em comprimento de onda de 205nm, tendo o ácido sulfúrico a 4% como o branco.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise Química

A média da análise química das costaneiras do cedro australiano de 18 anos foi de 65; 21,4; 13 e 0,6% para holocelulose, lignina, extrativos e teor de cinzas. Seus desvios padrão foram de 0,57; 0,81; 0,27 e 0,01 respectivamente.

Holocelulose

Verificou-se que as costaneiras de cedro australiano de 18 anos apresentaram 65,0% de holocelulose (celulose + hemiceluloses) em sua estrutura. Segundo Klock (2005), os teores de celulose e hemiceluloses para folhosas costumam ser de aproximadamente $(45\pm 2)\%$ e $(30\pm 5)\%$ respectivamente. Dessa forma, a madeira de cedro australiano de 18 anos está no intervalo citado. Estes valores estão próximos ao encontrado por Ziech et al. (2008) ao analisar o cedro australiano de 4 anos, porém o material utilizado foram discos da madeira, provenientes de três regiões do sul de MG, os valores médios para os teores de holocelulose foram de 64,13%, o que não diferiu muito do encontrado em um estudo químico da espécie *Cedrela odorata* L. que apresentou 66,6% (Santana & Okino, 2007).

A holocelulose é o componente mais higroscópico da madeira, sendo responsável, em grande parte, pela deterioração da madeira por organismos xilófagos e pela instabilidade dimensional da madeira, por apresentar grande quantidade de sítios para ligação com moléculas de água em sua estrutura.

Lignina

Os resultados observados permitem afirmar que o teor de lignina insolúvel presente na madeira de cedro australiano foi de 21,4%. Utilizando a norma ABTCP M 10/71 para o Teor de lignina, o resultado foi compatível aos

encontrados na literatura para madeiras de folhosas. Segundo Klock (2005), o teor de lignina para folhosas costuma ser de aproximadamente $(20 \pm 4)\%$. O mesmo estudo citado acima de Ziech et al. (2008) encontrou valores para lignina insolúvel na madeira de cedro australiano de 4 anos, de 20,31%, este valor comparado com o do presente trabalho foi semelhante. Santana & Okino (2007) obtiveram 32,7% de lignina insolúvel para a madeira de *Cedrela odorata* L..

Este resultado está de acordo com o que foi encontrado por Silva et al. (2005) que observaram tendência crescente do teor de lignina em relação à idade em madeiras de *Eucalyptus grandis*, no qual foram determinados os valores de 25,53 e 28,29% para as madeiras de 10 e 25 anos, respectivamente. Porém, não foi verificado um consenso na literatura para a variação no teor de lignina em relação à idade da madeira.

Observa-se geralmente valores um pouco maiores para este componente químico em outras madeiras. Mori et al. (2004), por exemplo, encontrou teores de lignina entre 27,39 e 31,88% para clones de eucalipto. O teor relativamente baixo de lignina encontrado para o cedro australiano pode estar relacionado com o maior teor de extrativos desta madeira que diminui os teores relativos dos demais componentes.

Mori et al. (2003), em estudo da utilização de espécies de eucaliptos e madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar, também obtiveram teores de lignina para as espécies de eucalipto estudadas, acima dos encontrados neste trabalho, com valores em um intervalo de 24,97% a 35,50%, respectivamente, para as espécies *Eucalyptus dunii* e *Eucalyptus resinifera*.

Extrativos

Segundo Klock (2005), o teor de extrativos para folhosas costuma ser de aproximadamente $(3 \pm 2)\%$. Dessa forma, a madeira de cedro australiano

(costaneiras) com 18 anos apresentou valores muito acima do esperado de aproximado 13%.

No trabalho de Ziech et al. (2008), os valores médios para os extrativos foi de aproximadamente 15% da madeira de cedro australiano de 4 anos. As variações nos teores dessas substâncias são evidentes entre indivíduos dentro de uma mesma espécie, variando do cerne mais interno para o recém-formado, sendo mais efetivo neste último. Os resultados corroboram com os estudos realizados, que indicam uma menor taxa de extrativos para o alburno e uma maior para o cerne, o qual naturalmente é mais impregnado de substâncias estranhas.

Esta diferença pode ser explicada pela natureza do material utilizado, no caso as costaneiras, que possuem características diferentes do disco da madeira, que abrange características da madeira por inteira (cerne+ alburno). Outros fatores que podem ter ocasionado a diferença entre si pode ser o sítio do material, diferença genética, e a mesma espécie pode apresentar valores diferentes entre si e dentro da mesma árvore.

Há uma considerável variação na distribuição de extrativos através da madeira ao longo do tronco. Os açúcares, outros constituintes solúveis da seiva e os depósitos de alimentos de reserva, tais como amido e gorduras, são encontrados no alburno. Já as substâncias fenólicas são normalmente depositadas no cerne. Existe também uma variação na quantidade de material depositado ao longo do comprimento da árvore e no sentido medula-casca. Além disto, é observada uma variação dos extrativos na estrutura celular da madeira, pois as gorduras são encontradas nas células parenquimatosas, especialmente no parênquima radial e algumas outras substâncias são depositadas nos vasos de certas folhosas (Oliveira, 1997).

Anteriormente, Wang et al. (1984), estudando os efeitos dos extrativos na resistência ao apodrecimento dessa espécie, comprovaram a perda de massa e

a redução da resistência da madeira a quatro espécies de fungos apodrecedores, após a extração com álcool benzeno, metanol e água, indicando, ainda, que certas substâncias solúveis em metanol inibem o crescimento desses fungos.

O alto teor de extrativos do cedro australiano talvez seja vantajoso para a sua utilização à medida que possivelmente aumentará sua resistência ao ataque de organismos xilófagos. A presença desses compostos pode influenciar em diversas características da madeira, como, por exemplo, a coloração, odor, permeabilidade, densidade, dureza, e resistência ao ataque de agentes xilófagos como fungos e insetos (Pettersen, 1984), podendo estar diretamente relacionado com a conhecida resistência dessa espécie à broca-do-cedro.

Uma espécie da mesma família estudada por Santana & Okino (2007), a *Cedrela odorata*, obteve uma taxa de 5,4% de extrativos. Outra importante espécie desta família, o mogno, teve uma média do teor de extrativo de 4,84% (Caixeta & Pastore, 2007).

Supõe-se que os extrativos possam interferir na decomposição da madeira de cedro australiano, visto que várias pesquisas têm demonstrado que diversas madeiras com alta resistência natural devem esta característica à presença, em seu cerne, de substâncias muitas vezes de origem fenólica, que apresentam propriedades fungicidas e inseticidas (Lepage, 1986).

Schultz et al. (1995), ao estudarem a importância dos extrativos na durabilidade da madeira do cerne de *Maclura pomifera*, uma folhosa dos Estados Unidos, identificaram os componentes oxireveratrol e dihidromorim como os responsáveis pela resistência ao apodrecimento.

Teor de Cinzas

A madeira de cedro australiano de 18 anos de idade apresentou teor de cinzas de 0,6% estando com conformidade com o citado por Tsoumis (1991) na faixa de 0,2% a 1% do peso seco das madeiras. Ziech et al. (2008), estudando a

mesma espécie com 4 anos de idade, encontrou 0,89%. Diante do que já foi discutido, esta diferença pode estar relacionada com vários fatores, como a diferença de constituintes das regiões da madeira, idade, sítio, entre outros.

Esta mesma tendência foi encontrada por Trugilho et al. (1996), que verificaram a redução do teor de cinzas com o incremento em idade em madeiras de *Eucalyptus saligna*, no qual os valores foram de 0,70, 0,53, 0,27 e 0,22% para madeiras de 12, 24, 36 e 48 meses, respectivamente.

Caixeta & Pastore (2007) estudaram a espécie mogno encontrando 0,33% de cinzas que foi comparativamente inferior ao obtido por Santana & Okino (2007) ao estudar 36 espécies de madeiras tropicais amazônicas, cujo valor de cinzas variou entre 2,25% e 0,20%.

Mori et al. (2003), ao caracterizar a madeira de angico-vermelho para a confecção de móveis, encontraram valores baixos de cinzas na madeira fazendo com que ocorressem menores desgastes de facas e serras durante o seu processamento. Os autores salientaram que o teor de componentes minerais (cinzas) está diretamente relacionado ao sítio de crescimento da árvore.

O alto teor de cinzas pode limitar o uso de determinadas madeiras no que se refere ao maior desgaste de ferramentas durante o seu processamento. Assim, a madeira de cedro australiano aos 4 anos poderia apresentar esse problema em maior intensidade em relação à madeira de 18 anos.

5.2 Caracterização anatômica

Os dados apresentados abaixo representam a média dos caracteres anatômicos de três árvores de cedro australiano de 18 anos de idade para a localidade de Marechal Floriano/ ES.

A madeira tem como características gerais textura média, linhas vasculares retilíneas, grã direita ou ligeiramente irregular (inclinada), cheiro

agradável ao corte, sem gosto, superfície radial pouco lustrosa, madeira macia ao corte e cerne bege-rosado, distinto do alburno marrom-claro (Figura 13).



FIGURA 13 Disco da madeira de cedro australiano com 18 anos.

Camadas de crescimento: distintas devido à diferenciação na espessura da parede das fibras. **Vasos:** Porosidade em anéis semiporosos, ou seja, os poros do lenho inicial são distintamente maiores que os do lenho tardio disposto em arranjo tangencial; agrupamento dos vasos, encontra-se vasos geminados 38,81%, ocorrendo também solitários 61,19% e múltiplos de 3 com 2,24%. Frequência apresenta valores de 7,78 mm² a 8,04 mm², com uma média de 7,91 mm² e desvio padrão de 0,13 mm²; diâmetro tangencial do lúmen variando de pequeno 150,90 µm a grande 175,05 µm, com predominância de médios 162,98 µm, e desvio padrão de 12,08 µm; contorno arredondado; comprimento variando de 330,43 µm a 363,84 µm, média de 349,81 µm, e desvio padrão de 17,34 µm; placa de perfuração simples e apêndice presente em uma das extremidades dos vasos, podendo também ser encontrada em ambas as extremidades; vasos desobstruídos; pontuações intervasculares; alternas; de formato arredondado. **Parênquima axial paratraqueal:** escasso. **Parênquima marginal terminal.** **Fibras:** libriformes com pontuações muito pequenas; comprimento variando de 936,49 µm a 1092,20 µm, média de 1033,22 µm considerada curta, e desvio padrão de 84,44 µm; espessura da parede, fibras com paredes delgadas a

espessas; média de 3,14 μm variando de 2,98 μm a 3,26 μm e desvio padrão 0,15 μm ; diâmetro do lúmen média de 16,95 μm , variando de 16,54 μm a 17,38 μm , e desvio padrão de 0,42 μm . **Raios:** parênquima radial heterogêneo do tipo III; corpo do raio composto de células procumbentes e uma camada de células marginais eretas e laterais quadradas; possui dois tipos distintos; presença de amido; raros cristais e sílicas; ocorrendo multisseriados e unisseriados; largura dos raios multisseriados, estreitos com 58,99 μm de espessura, variando de 53,93 μm a 64,90 μm , desvio padrão de 5,54 μm ; comprimento multisseriados muito baixos com altura média de 0,53 mm, mínimo de 0,52mm, máximo 0,54 mm e desvio padrão de 0,01mm; quanto aos raios unisseriados, largura, são finos com predominância de 32,14 μm , variando de 29,05 μm a 35,81 μm , desvio padrão de 3,42 μm ; comprimento extremamente baixo, apresentam altura média de 0,21 mm, valores máximo e mínimo de 0,23 mm e 0,20 mm respectivamente, desvio padrão de 0,02 mm; frequência de 5,66 a 5,98 de raio por mm/ linear, com uma média de 6,15 mm linear e desvio padrão de 0,16mm.

A estatística descritiva dos componentes anatômicos da madeira das três árvores de cedro australiano de 18 anos de idade para a localidade de Marechal Floriano/ ES está apresentada na Tabela 3.

TABELA 3 Valores médios das características anatômicas mensuradas nas árvores de cedro australiano de 18 anos.

Análise anatômica								
Árvore	Vasos		Fibras			Raios		
	Comp.	Diâm.	Comp.	Parede	Lume	Comp.	Larg.	Freq.
1	330,43	175,05	1070,96	2,98	16,54	0,39	50,36	5,98
2	363,84	150,90	1092,20	3,26	17,38	0,36	42,74	5,78
3	355,17	163,00	936,49	3,18	16,93	0,36	43,60	5,66
Média	349,81	162,98	1033,22	3,14	16,95	0,37	45,57	5,66
CV(%)	4,96	7,41	8,17	4,63	2,47	3,49	9,16	2,78

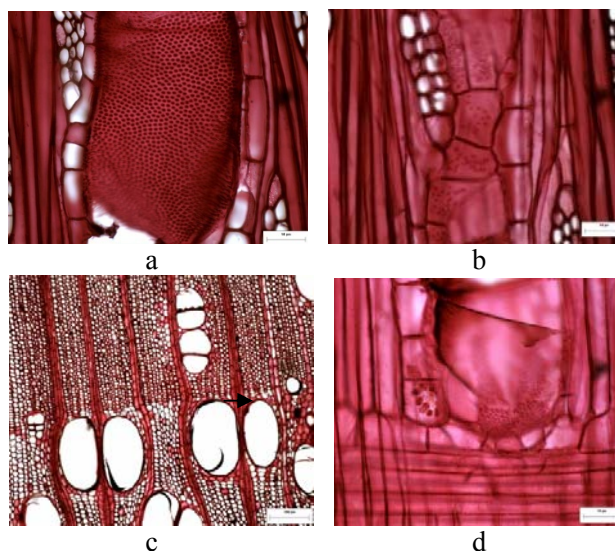
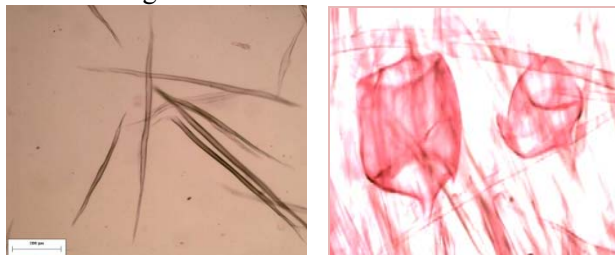
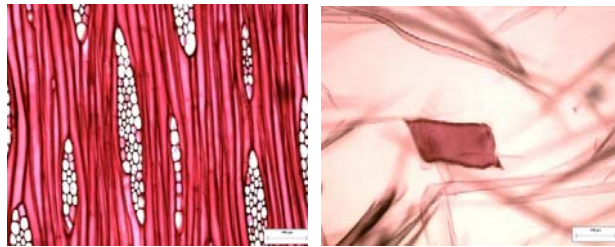
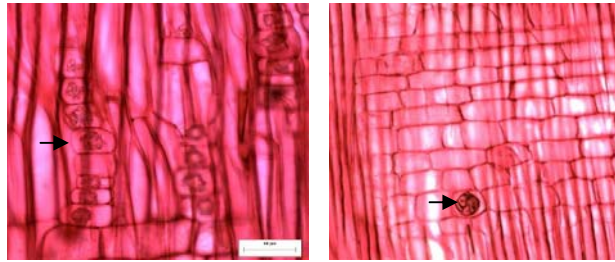


FIGURA 14 Aspectos anatômicos gerais da madeira de cedro australiano de 18 anos. a: Pontoações intervasculares ; b: vaso e células de parênquima do raio evidenciando as pontoações raio-vasculares; c: plano transversal com camada de crescimento distinta, espessura diferenciada na parede das fibras, bem como vasos de tamanhos diferentes (anéis semiporosos), evidenciando vasos solitários e geminados, com contorno arredondado e parênquima axial escasso; d: células de amido; e: cristais; f: sílica e raio com células procumbentes, quadradas e eretas; g: aspectos dos raios unisseriados e multisseriados; h: elemento de vaso com apêndice nas duas extremidades; i: fibras libriiformes; j: placa de perfuração simples. (“...continua...”)

“FIGURA 14, Cont.”



De acordo com Ziech et al. (2008), a madeira de cedro australiano de 4 anos de idade possui as mesmas características anatômicas aqui encontradas, ou seja, apresenta vasos com porosidade em anéis semiporosos, em arranjos radiais com placas de perfuração simples, o que diferiu foi o tamanho dos elementos anatômicos.

Os caracteres anatômicos observados na madeira de *Toona ciliata* M. Roem são similares àquelas de outras espécies da família *Meliaceae* como no mogno (*Swietenia macrophylla*), cedro (*Cedrela odorata*) e andiroba (*Carapa Guianensis*), que apresentam placa de perfuração simples, vasos em arranjos radiais e linhas vasculares retilíneas, Além desses, o cedro australiano apresenta vasos em anéis semiporosos, como o cedro nativo (Coradin et al., 1991; Coradin & Camargos, 2002).

Esta madeira apresenta porosidade em anéis semiporosos, em que os poros do lenho inicial são maiores que os do lenho tardio, os resultados corroboram com Ziech et al. (2008). Esta característica, segundo Iwakiri (2005), pode causar problemas em relação à penetração do adesivo, resultando em linha de cola “espessa”. O autor esclarece que esse problema pode ser minimizado com a variação na formulação do adesivo, com o aumento ou redução da viscosidade, no entanto, esclarece que é de difícil praticidade.

Conforme classificação de Metcalfe & Chalk (1983), o diâmetro dos elementos de vaso da madeira de cedro australiano de 18 anos é considerado de tamanho médio, comprimento curto; as fibras classificadas como “curta”, e com relação ao seu comprimento e aos raios unisseriados são considerados extremamente baixos.

5.3 Resistência a biodegradação

5.3.1 Perda de massa das espécies de referência

Os resultados da perda de massa e respectiva classe de resistência das espécies de referência, *Pinus* sp. e *Cecropia* sp., usadas no ensaio acelerado de biodegradação em laboratório, são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4 Média de perda de massa e respectiva classe de resistência das madeiras de referência *Pinus* sp. e *Cecropia* sp. usadas no ensaio acelerado de laboratório da acordo com a norma D2017 (ASTM, 2005).

Espécies	Fungos	Perda de Massa (%)	Classe de Resistência
<i>Pinus</i> sp.	<i>G. trabeum</i>	62,5 % (0,02/ 3,41)	NR
<i>Cecropia</i> sp.	<i>T. versicolor</i>	58,7 % (0,05/ 8,63)	NR

Valores entre parênteses são, respectivamente, desvio-padrão e coeficiente de variação. NR: não resistente.

Os resultados apresentados na Tabela 6 mostram que as espécies de referência foram intensamente atacadas pelos fungos após o período de 12 semanas. O *Pinus* sp., submetido ao ataque do fungo *Gloeophyllum trabeum*, apresentou uma perda de massa média de 62,5% enquanto a perda de massa da espécie *Cecropia* sp., submetida ao ataque do fungo *Trametes versicolor*, foi de 58,7%. Estes resultados evidenciam a viabilidade do material biológico (atividade dos fungos) utilizado, e a boa adequação das condições de incubação, ao qual foram submetidas a madeira de cedro australiano e os painéis aglomerados e OSB.

O autor Nzokou (2005) sugere uma avaliação preliminar da resistência natural das espécies de madeiras utilizadas como referência em ensaios de biodeterioração acelerada em laboratório, que permite determinar a viabilidade do ataque dos fungos utilizados e sua consequente eficiência do ensaio.

5.3.2 Perda de massa da madeira de cedro australiano

Na Figura 15 são apresentados os valores médios de perda de massa da madeira de cedro australiano submetida ao ataque dos fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* de acordo com a norma D2017 (ASTM, 2005).

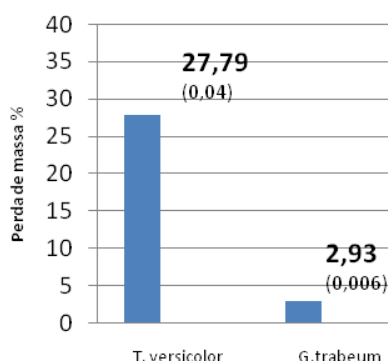


FIGURA 15 Valores médios da perda de massa (%) observados para a madeira de cedro australiano submetida ao ataque dos fungos *Trametes versicolor* (podridão branca) e *Gloeophyllum trabeum* (podridão parda). Os valores entre parênteses são os desvios-padrão.

Os resultados apresentados na Figura 18 mostram que a madeira de cedro australiano é moderadamente resistente com perda de massa de 27,79% em relação ao fungo *Trametes versicolor*. Frente ao *Gloeophyllum trabeum*, a madeira de cedro australiano é altamente resistente com perda de massa de 2,93% de acordo com a classificação sugerida pela norma D2017 (ASTM, 2005). Esse fato corrobora a assertiva de que fungos de podridão parda preferencialmente degradam as coníferas e os de podridão branca as folhosas (Zabel & Morrel, 1992).

Oliveira et al. (2005) estudaram a influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento do cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) causado pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*. Eles relataram que quando blocos de madeira eram

submetidos à extração em água quente e em etanol/tolueno não apresentaram diferenças significativas se comparadas à madeira moída sem extrair. Os tratamentos em que a madeira era extraída sequencialmente em solventes orgânicos, em metanol e em diclorometano, obtiveram as maiores perdas de massa de 4,06%; 3,55% e 2,67%, respectivamente. Concluíram que a madeira do cedro é naturalmente resistente, e que os solventes utilizados não foram capazes de retirar os componentes químicos responsáveis pela resistência ao apodrecimento causado pelo fungo de podridão parda.

No estudo de Carneiro et al. (2009) com a espécie *Cedrela odorata*, foi obtida uma perda de massa de 12% para o *Gloeophyllum trabeum* e de 22% para o *Trametes versicolor*, ambos classificados como resistentes. Tal comportamento diferiu do encontrado neste trabalho, com a madeira da mesma família a do cedro australiano, pois o *Gloeophyllum trabeum* foi classificado como altamente resistente e o *Trametes versicolor* como moderadamente resistente.

Dados da literatura indicam que a madeira de cedro australiano é resistente ao ataque de insetos. Em ensaio de resistência ao ataque de cupins, Gonçalves & Oliveira (2006) classificaram a espécie como resistente ao ataque dos térmitas. A espécie apresentou um desgaste superficial, e houve alta mortalidade dos insetos. De acordo com Mangliavori et al. (2003), esta espécie possui imunidade ao broqueador das pontas (*Hypsipyla grandella* Zeller), um inseto que causa grandes danos aos cedros nativos.

A perda de massa de 27,79% causada pelo fungo *T. versicolor* sobre a madeira do cedro australiano leva a supor que os extrativos do cedro australiano possuem melhor ação inseticida do que fungicida.

De acordo com os critérios da ASTM D 2017, o cedro foi classificado como “moderadamente resistente”. Para fins de uso da madeira, os resultados deste ensaio e as informações da literatura levam a crer que o cedro australiano é

uma espécie indicada para usos onde as peças não ficarão expostas à umidade, tais como usos internos. Nestas circunstâncias diminui - se risco de apodrecimento fúngico já que a madeira é naturalmente resistente ao ataque de insetos. Para usos em situações de alto risco de apodrecimento (contato direto com o solo ou água), a espécie não é indicada, a menos que seja submetida a algum tratamento preservante (Dirol & Deglise, 2001).

O desempenho do cedro australiano durante o ensaio de apodrecimento pode estar relacionado à sua estrutura anatômica. Os dados anatômicos indicam que a espécie é pouco porosa com diâmetro médio e porosidade em anéis semi-porosos, e este fato está diretamente ligado ao fluxo de líquidos e ao acesso de fungos. De acordo com Richter & Burger (1978), espécies muito porosas são menos resistentes quando comparadas com as menos porosas, mas a densidade desta espécie é baixa, de 0,32 g/cm³, o que pode facilitar a penetração das hifas.

Porém, ao analisar os raios do cedro australiano, verificou-se a presença de células de amido, as quais são uma fonte de alimento para os fungos. Vasos em porosidade em anel, desobstruídos, pontoações alternas podem facilitar a penetração das hifas, verdadeiros pontos de entrada, confirmando que a presença de grande quantidade de tecido parenquimático (raios) proporciona baixa resistência natural à madeira, uma vez que se trata de tecido mole, de fácil penetração e, sobretudo, por atrair os agentes destruidores através dos conteúdos nutritivos armazenados em suas células (amidos, açúcares, proteínas, etc.).

5.3.3 Perda de massa dos painéis OSB

Na Tabela 5 abaixo estão apresentados os valores médios das porcentagens de perda de massa quanto à biodeterioração causada pelos fungos de podridão branca *Trametes versicolor* e de podridão parda *Gloeophyllum trabeum*.

TABELA 5 Média de perda de massa de painéis OSB expostos aos fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* e as respectivas classes de resistência.

Perda de massa % e classe de resistência				
Tratamentos OSB	<i>T. versicolor</i>	Classificação	<i>G. trabeum</i>	Classificação
T5	30,8 B (2,9)	MR	3,4 B (2,6)	AR
T6	15,5 A (8,2)	R	2,8 B (0,5)	AR
T7	37,4 B (7,8)	MR	4,3 B (0,2)	AR
T8	23,7 B (10,43)	R	1,9 B (0,3)	AR
T9	31,5 B (21,4)	MR	10,0 A (6,7)	AR
T10	29,2 B (5,6)	MR	4,0 B (1,8)	AR
T11	34,7 B (12,4)	MR	2,4 B (0,7)	AR

MR: moderadamente resistente; R: resistente; AR: altamente resistente
Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.
Valores entre parênteses são desvios-padrão.

Observou-se que os tratamentos exibiram comportamentos diferenciados em relação aos dois fungos. O fungo de podridão branca *Trametes versicolor*, ocasionou nos painéis OSB de pinus (T6, P) e da sobreposição das camadas de cedro australiano e pinus (T8, CPC) menor perda de massa, sendo classificados como resistentes, porém, somente o painel OSB de pinus (T6, P) foi estatisticamente diferente, a 5% de probabilidade, dos demais tratamentos.

Vale ressaltar a generalização da não preferência do fungo de podridão branca pela madeira de *Pinus* sp. (coníferas), no entanto, com a sobreposição de camadas de cedro e pinus (T8, CPC) no painel OSB houve maior perda de massa (23,7%) em relação ao painel OSB de pinus (T6, P) que foi de 15,45%, levando

a supor que a sobreposição de camadas não foi tão eficiente quanto esperava na inibição do ataque de fungo.

Por outro lado, se comparar os painéis OSB de cedro (T5, C) e da sobreposição de camadas de cedro e pinus (T8, CPC), os valores de perda de massa para T5 que foi de 30,79% foi levemente superior ao do T8 que é de 23,70%. Esse mesmo efeito pode ser verificado no painel OSB com a sobreposição em camadas de cedro e eucalipto (T10, CEC) cuja perda de massa foi de 29,22%. Isso leva a considerar que a sobreposição de camada de espécies induziu um pequeno efeito inibitório ao ataque do fungo de podridão branca. Não se pode afirmar com certeza que a sobreposição teve um efeito positivo contra o ataque do fungo, visto que a mesma é potencialmente evidente nas superfícies das amostras, e pelo fato de que a constituição do painel foi CPC (25:50:25), ou seja, a espécie de cedro está nas faces.

Ao comparar o painel OSB de pinus (T6, P) e a sobreposição de pinus e cedro (T9, PCP), verifica-se que o primeiro apresentou perda de massa de 15,45% enquanto que o segundo foi bem superior de 31,52%, sendo estatisticamente diferente, a 5% de probabilidade. Uma explicação para esse incremento na perda de massa poderia ser que algum componente químico da madeira de cedro australiano emergiu à superfície do painel beneficiando o desenvolvimento do fungo.

Ao comparar os painéis OSB de eucalipto (T7, E) e da sobreposição de camadas de eucalipto e cedro (T11, ECE) quando exposta ao fungo de podridão de podridão branca, as perdas de massas foram bastante similares, sendo estatisticamente iguais. Isso pode ser explicado pelo modo com que a amostra foi preparada, ou seja, ambas contém só o eucalipto nas faces.

As discrepâncias de perda de massa podem ser provenientes da própria complexidade da madeira, isso sem levar em consideração a bioquímica dos fungos. Além da variação dentro da mesma árvore pode ocorrer também

variação para árvores de uma mesma espécie. Outra possível fonte de variação é distribuição da resina que pode não ser uniforme em todas as partículas do painel.

Analisando o fungo de podridão parda, *Gloeophyllum trabeum*, todos os tratamentos foram classificados como altamente resistentes. Os fungos de podridão parda preferencialmente atacam as coníferas, e neste trabalho apenas o painel OSB com sobreposição de camadas de pinus e cedro (T9, PCP) foi estatisticamente diferente, a 5% de probabilidade, dos demais tratamentos, apresentando maior perda de massa de 10,04%. O painel OSB de pinus (T6, P) era de se esperar maior perda de massa, o que não ocorreu por uma deficiência no processo de fabricação dos painéis, provavelmente na etapa de aplicação da resina fenólica que não foi de forma homogênea.

Os tratamentos T5, T7, T8, T10 e T11 apresentaram valores de perda de massa diferenciados, mas foram todos estatisticamente iguais. Esse comportamento leva a considerar que a sobreposição em camadas de espécies de cedro, pinus e eucalipto não foram eficazes na inibição ao fungo de podridão parda *Gloeophyllum trabeum* nos painéis OSB.

Costa (1975) afirmou que as variações no teor de umidade do solo, no tipo de fungo apodrecedor, na exposição do bloco, além da própria espécie de madeira, podem influenciar consideravelmente a resistência das madeiras ao apodrecimento. Pelo exposto, fica evidente a complexidade dos fatores ligados à durabilidade natural da madeira.

Comparativamente à madeira sólida, ambos os fungos apresentaram certa inibição diante da resina fenólica das chapas de OSB confeccionadas. Esse resultado era previsível, em função do potencial biocida de compostos fenólicos.

Os estudos que pretendem avaliar a degradação da madeira, segundo Trevisan et al. (2007), devem envolver áreas distintas do conhecimento. Entre elas, pode ser citada a tecnologia da madeira, para que o processo de degradação

seja compreendido, gerando uma base de dados sobre o comportamento dos organismos xilófagos na interação com a própria madeira estudada.

5.3.4 Perda de massa dos painéis aglomerados

Na Tabela 6 abaixo estão representados os valores médios das perdas de massa em porcentagem quanto à biodegradação causada pelos fungos *T. versicolor* e *G. trabeum*, de podridão branca e parda, respectivamente.

TABELA 6 Média de perda de massa de painéis aglomerados expostos aos fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* e respectiva classe de resistência.

Perda de massa % e classe de resistência				
Tratamentos aglomerado	<i>T. versicolor</i>	Classificação	<i>G. trabeum</i>	Classificação
T2	41,9 B (2,2)	MR	17,1 A (3,4)	R
T3	33,3 A (0,02)	MR	48,7 B (0,01)	NR
T4	40,2 B (0,02)	MR	11,9 A (0,01)	R

MR: Moderadamente resistente; R: Resistente; NR: Não resistente.

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses são desvios-padrão.

Segundo a norma D 2017 (ASTM, 2005), todos os painéis aglomerados foram classificados como moderadamente resistentes quando expostos ao fungo de podridão branca *T. versicolor*.

Dentre todos os tratamentos, somente o painel aglomerado da mistura de pinus e cedro (T3, cp) foi estatisticamente diferente, a 5% de probabilidade, dos demais. Esse comportamento é devido aos fungos de podridão branca degradarem preferencialmente folhosas levando a uma menor perda de massa no tratamento T3. Uma vez que não dispõe da perda de massa do painel aglomerado

de pinus, supõe-se que a mistura de espécies tenha sido eficaz na inibição do fungo de podridão branca *Trametes versicolor*. Já o painel aglomerado de cedro (T2, c) não diferenciou estatisticamente, a 5% de probabilidade, do painel aglomerado da mistura de cedro e eucalipto (T4,ce).

Segundo a norma D 2017 (ASTM, 2005), o painel aglomerado de cedro e pinus foi classificado como não resistente, corroborando a preferência do fungo de podridão parda *Gloeophyllum trabeum* por madeiras de coníferas. O painel aglomerado de cedro (T2, c) e a mistura de cedro e eucalipto (T4, ce) foram classificadas como resistentes e de acordo com o teste de Scott-Knott somente o tratamento T3 foi estatisticamente diferente, a 5% de probabilidade.

O fungo *G. trabeum* foi muito mais agressivo em relação ao *T. versicolor* apresentando classes distintas de durabilidade.

Comparativamente à madeira sólida, ambos os fungos não apresentaram certa inibição diante da resina Uréia-formaldeído das chapas de aglomerado confeccionadas. Isto devido ao fato de que esta resina interage com água ou umidade do ar, não conferindo resistência à absorção e ao inchamento como a fenólica, assim, permitindo que as amostras atinjam o teor de umidade ideal ao crescimento e atuação dos fungos xilófagos. Esses dados foram confirmados por Kartal & Green (2003), os quais afirmaram que as resinas urêicas não são resistentes à água, e que o inchamento das amostras proporciona maior acesso aos fungos às fibras da madeira.

Foi notória a maior perda de massa tanto nos painéis aglomerados da mistura de cedro e pinus (T3, cp) quanto nos OSB de sobreposição de camadas de pinus e cedro (T9, PCP) que apresentaram perda de massa de 48,7% e 10,0%, respectivamente, quando exposto ao fungo de podridão parda *Gloeophyllum trabeum*.

Para fins de indicação de uso dos painéis, devemos considerar os resultados do fungo que causou as maiores perdas de massa, pois não é possível

prever qual tipo de fungo irá colonizar a peça quando em uso. Logo, painéis classificados como resistentes a um fungo e moderadamente resistentes a outro, devem ser classificados como moderadamente resistentes para fins de utilização.

Painéis classificados como “moderadamente resistentes” são indicados para usos fora do contato com a umidade (usos internos), onde há baixo risco de apodrecimento. Painéis classificados como “resistentes” (T6 P e T8 CPC) toleram a exposição eventual à umidade, podendo ser indicados para usos externos, desde que fora do contato com o solo. Para usos em situações de alto risco de apodrecimento (contato direto com o solo ou água) nenhum dos produtos testado é indicado, a menos que sejam submetidos a tratamento preservante (Dirol & Deglise, 2001).

Portanto, o conhecimento do potencial intrínseco a cada espécie florestal, bem como a dinâmica dos organismos xilófagos em dado ambiente, pode evitar o desperdício ocasionado pelo colapso de estruturas construídas com madeira inadequada.

A hipótese de que o cedro australiano poderia apresentar algum efeito inibitório aos fungos de podridão parda *Gloeophyllum trabeum* e o de podridão branca *Trametes versicolor* não foi confirmado, assim como a sobreposição de camadas de espécies diferentes. Sugere-se que nos painéis OSB seja feita realmente a mistura de espécies.

Considerando apenas o cedro australiano, as perdas de massa da madeira de cedro (T1), do painel OSB de cedro (T5, C) e do painel aglomerado de cedro (T2, c) foram de 27,8%, 30,8% e 41,2% quando expostos ao fungo de podridão branca *Trametes versicolor*. O incremento na perda de massa dos painéis pode ser devido à maior área superficial das partículas e maior facilidade de acesso à penetração das hifas (vazios interpartículas). Esse mesmo comportamento também foi constatado para o fungo de podridão parda *Gloeophyllum trabeum*, cuja perda de massa foi de 2,9%, 3,4% e 17,1%, porém em menor intensidade.

Visualmente pode ser observado que o fungo *Trametes versicolor* promoveu pouca alteração na cor natural dos tratamentos se comparado ao fungo *Gloeophyllum trabeum*, onde foi observado nas chapas e madeira sólida mais quebra-diças, escuras, com fissuras e trincas, conforme pode ser visto na Figura 16. Oliveira (1986) comenta que rachaduras e trincas são comuns em madeiras expostas a fungos de podridão parda.

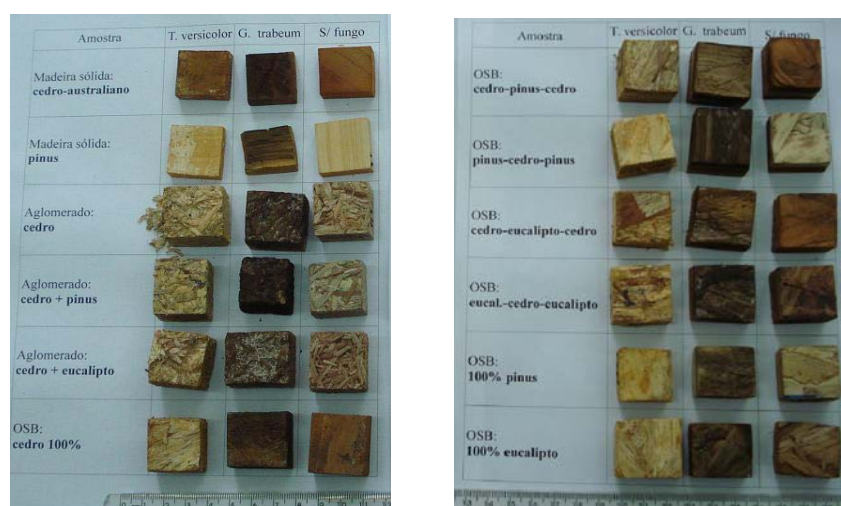


FIGURA 16 Corpos-de-prova dos tratamentos após a deterioração pelos fungos *T. versicolor* e *G. trabeum* e sem fungo por um período de 12 semanas.

5.5 Análise colorimétrica

A figura 17 ilustra as variações ocorridas na variação total na cor (ΔE^*) da madeira sólida e dos tratamentos aglomerados, observados após o ataque dos fungos *T. versicolor* e *G. trabeum*.

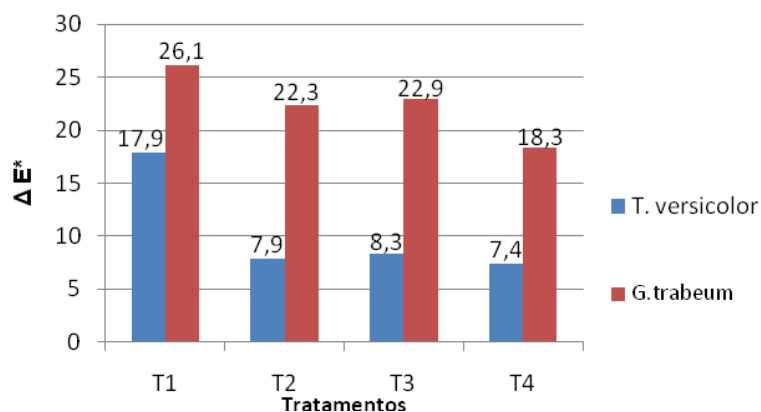


FIGURA 17 Valores médios da variação da cor ΔE^* da madeira de cedro australiano (T1) e dos painéis aglomerados (T2, T3, T4) expostos aos fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

A variação total de cor (ΔE^*) foi maior após o ataque do fungo de podridão parda *G. trabeum* na madeira sólida de cedro australiano (T1), semelhantemente ocorrendo nos painéis aglomerados de cedro (T2, c), da mistura de cedro e pinus (T3, cp) e da mistura de cedro e eucalipto (T4, ce), comparativamente ao ataque do fungo de podridão branca *Trametes versicolor*.

A madeira sólida do cedro australiano naturalmente já apresenta uma cor mais escura resultando num maior valor de ΔE^* que foi de 17,9 e 26,1, após o ataque dos fungos de podridão branca e parda, respectivamente. Já o painel de cedro (T2, c) não apresentou o mesmo comportamento.

As variáveis colorimétricas são bastante sensíveis, pois detectam qualquer modificação, a exemplo da madeira de cedro (T1) e do aglomerado de cedro (T2, c) que é diferente quanto à inclusão da resina urêica, temperatura de prensagem, tipo de partículas.

O valor da variação total de cor (ΔE^*) dos painéis aglomerados expostos ao fungo de podridão branca foram bastante similares o que leva a considerar

que é pela proximidade dos valores de perda de massa, independente da espécie de madeira.

O painel aglomerado de mistura de cedro e pinus (T3, cp) foi o mais atacado pelo fungo de podridão parda, com perda de massa de 47,88%, e na análise colorimétrica esse fato foi confirmado apresentando uma variação total de cor de 22,9 superior aos outros painéis aglomerados.

No geral, tanto a madeira sólida, quanto os painéis aglomerados sofreram uma maior alteração na cor após o ataque do fungo de podridão parda o que já se esperava, de acordo com relatados na literatura como: que a madeira com podridão parda apresenta o aspecto de estar levemente queimada, adquirindo coloração parda. A causa destas mudanças é a contínua degradação da celulose e hemicelulose, ficando o teor da lignina praticamente intacta, mas modificada ou oxidada (Okino et al., 2009b).

A madeira de cedro australiano apresentou maior variação total de cor (ΔE^*) quando comparado com os painéis aglomerados, quando expostos aos fungos de podridão parda e branca. Isso pode ser explicado pois a madeira de cedro, apesar de sua menor densidade em relação ao painel aglomerado, possui uma superfície mais homogênea do que o painel, que possui superfície mais irregular (cheio de vazios), provocando maior dispersão da luz ao se fazer as mensurações no aparelho espectrofotômetro.

Outro fator a ser considerado é a resina urêica, que na proporção de 9% na constituição do painel aglomerado, de algum modo levou à obtenção de uma menor alteração de cor quando expostos a ambos os fungos.

Quanto aos painéis OSB, os resultados não saíram do padrão esperado. Seus valores estão representados na Figura 18.

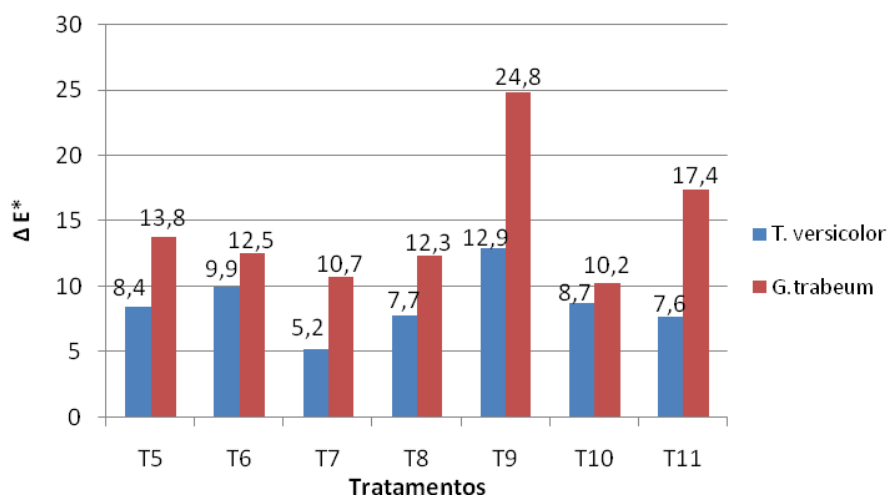


FIGURA 18 Valores médios da variação da cor ΔE^* dos painéis OSB expostos aos fungos *T. versicolor* e *G. trabeum*.

Nos painéis OSB, os resultados da variação total de cor (ΔE^*) não foram diferentes, houve um escurecimento maior nos tratamentos atacados pelo fungo de podridão parda *Gloeophyllum trabeum*.

O painel OSB com sobreposição de camadas de pinus e cedro (T9, PCP) apresentou a maior variação de cor de 24,8 corroborando com a maior perda de massa de 10% quando exposto ao fungo de podridão parda *Gloeophyllum trabeum*. Porém,, o painel OSB de pinus (T6, P) não manteve este escurecimento em razão da pequena perda de massa (2,80%).

O fungo *G. trabeum* no painel OSB com sobreposição de camadas de eucalipto e cedro (T11, ECE) apresentou uma variação total de cor (ΔE^*) de 17,4, ou seja, madeiras de cores mais escuras após o ataque do fungo de podridão parda tendem a ficar mais escuras.

Este fato corrobora com os resultados do autor Lepage (1986) o qual cita que a madeira atacada por fungos de podridão parda apresenta-se, em estágios iniciais, ligeiramente escurecida, assumindo uma coloração pardo-escura à

medida que o apodrecimento progride, ou seja, há o acúmulo de resíduos de lignina modificada ou oxidada.

A madeira de cedro (T1) apresentou maior variação total de cor (ΔE^*) do que os painéis OSB de cedro (T5, C); painel OSB com sobreposição de camadas de cedro e pinus (T8, CPC) e com sobreposição de cedro e eucalipto (T10, CEC), isso talvez devido ao tratamento prévio de imersão das madeiras de cedro em água fria, para a obtenção de strands, acarretando uma perda de 7% de extratos brutos.

Este resultado foi o mesmo encontrado por Costa et al. (2009) ao estudar o efeito dos fungos na coloração de duas folhosas, verificou-se que a cor da madeira de marupá foi modificada significativamente pelos dois fungos (podridão branca e parda), havendo um escurecimento em ambos os casos. Para o fungo de podridão parda, *G. trabeum*, a variação total na cor (ΔE^*) foi maior após o seu ataque.

As curvas de reflectância dos tratamentos evidenciaram as suas cores características, tanto a madeira sólida quanto os painéis aglomerados e OSB apresentaram curvas semelhantes, exemplificado na Figura 19.

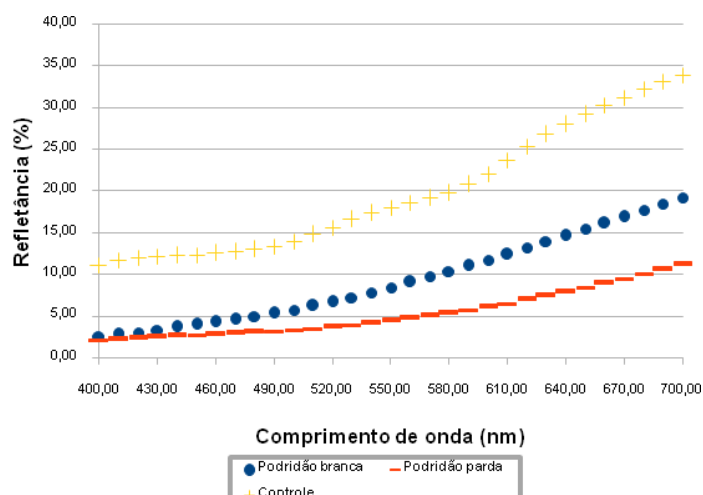


FIGURA 19 Curva de reflectância da madeira de cedro australiano sem o ataque de fungo (controle) e após o ataque do fungo de podridão branca, *Trametes versicolor* e o fungo de podridão parda, *Gloeophyllum trabeum*.

Como esperado, as espécies apresentaram alterações em seus parâmetros colorimétricos após o ataque dos fungos. A curva de reflectância da madeira de cedro-australiano atacada pelo fungo *T. versicolor* apresenta o ligeiro escurecimento, refletindo menos a luz incidente do que o controle. Já nas amostras atacadas pelo fungo *G. trabeum*, é possível verificar o aumento da influência dos pigmentos vermelhos (a^*) em detrimento dos amarelos (b^*), pela inversão da inflexão da curva de reflectância.

Em Costa et al. (2009), na curva de reflectância de andiroba atacada pelo fungo *T. versicolor*, a madeira apresentou-se mais clara, refletindo mais a luz incidente, enquanto no ataque do fungo *G. trabeum* a madeira apresentou-se mais escurecida, evidenciando uma diminuição na taxa de reflexão em relação à testemunha.

5.6 Lignina solúvel e insolúvel da madeira e dos tratamentos atacados e não atacados

Há de ressaltar que o aumento no teor de lignina insolúvel nas amostras atacadas expressam um incremento relativo conforme listado na Tabela 7.

Na Tabela 7 abaixo estão representados as porcentagens de lignina solúvel e insolúvel da madeira sólida do cedro australiano, dos painéis aglomerados e dos painéis OSB antes e após o ataque dos fungos de podridão branca (PB) *Trametes versicolor* e podridão parda (PP) *Gloeophyllum trabeum*.

TABELA 7 Valores dos teores de lignina solúvel e insolúvel dos tratamentos, seguidos dos desvios-padrão.

	Tratamentos	Lig. Insolúvel(Lig. Solúvel (%)	
Madeira	T1	25,72 (0,03)	1,22	(0,10) sem atacar
	T1	41,36 (0,05)	1,16	(0,01) atacado por fungo PB
	T1	27,15 (0,08)	0,95	(0,02) atacado por fungo PP
Chapa Aglomerada	T2	26,84 (0,03)	1,49	(0,04) sem atacar
	T3	30,86 (0,02)	0,98	(0,02) sem atacar
	T4	34,41 (0,08)	1,33	(0,15) sem atacar
	T2	39,01 (0,06)	1,54	(0,00) atacado por PB
	T3	31,71(0,02)	1,11	(0,03) atacado por PB
	T4	41,33 (0,07)	1,59	(0,03) atacado por PB
	T2	43,67 (0,06)	1,65	(0,03) atacado por PP
	T3	61,17 (0,04)	1,22	(0,00) atacado por PP
	T4	50,99 (0,02)	1,52	(0,03) atacado por PP
Chapa OSB pura	T5	31,62 (0,04)	1,12	(0,05) sem atacar
	T6	29,31(0,05)	0,46	(0,02) sem atacar
	T7	31,58(0,03)	2,19	(0,02) sem atacar
	T5	36,31(0,08)	1,25	(0,04) atacado por PB
	T6	34,68 (0,09)	0,70	(0,02) atacado por PB
	T7	35,63 (0,08)	1,89	(0,03) atacado por PB
	T5	34,63 (0,07)	1,13	(0,00) atacado por PP
	T6	36,58 (0,01)	0,58	(0,04) atacado por PP
	T7	32,84 (0,03)	2,11	(0,03) atacado por PP
Chapa OSB mix	T8	30,69 (0,01)	1,15	(0,03) sem atacar
	T9	32,80 (0,03)	1,09	(0,05) sem atacar
	T10	30,91 (0,04)	1,31	(0,23) sem atacar
	T11	29,64 (0,05)	1,83	(0,05) sem atacar
	T8	32,72 (0,23)	1,47	(0,04) atacado por PB
	T9	38,06 (0,06)	0,93	(0,02) atacado por PB
	T10	35,30 (0,02)	1,52	(0,07) atacado por PB
	T11	30,38 (0,02)	0,51	(0,01) atacado por PB
	T8	33,53 (0,03)	1,18	(0,06) atacado por PP
	T9	38,32(0,09)	0,69	(0,04) atacado por PP
	T10	34,79 (0,06)	1,18	(0,02) atacado por PP
T11	32,80 (0,06)	2,23	(0,03) atacado por PP	

O teor de lignina insolúvel para a madeira de cedro australiano, de 18 anos de idade, foi de 25,72% usando a norma NREL LAP-004 e NREL LAP-003. Obtendo-se também 24,41% de lignina insolúvel ao usar a norma ABTCP M 10/71. Essa discrepância está relacionada com a diferença de material, uma utilizou-se a média do disco (inteiro) e outra utilizou-se a amostra das costaneiras apenas.

Ao analisar os dados da madeira sólida, percebemos que a madeira não atacada apresenta 25,72% de lignina insolúvel e, à medida que ocorre a perda de massa, há um aumento na porcentagem de lignina insolúvel. Isto devido ao fato de que os outros polímeros da madeira são os inicialmente mais atacados, por possuir uma característica menos recalcitrante que o da lignina.

Com relação à madeira de cedro australiano (T1), o maior teor de lignina insolúvel foi de 41,36% quando exposta ao fungo de podridão branca *Trametes versicolor*, cuja perda de massa foi de 27,79%. Pelo resultado de lignina insolúvel constata-se que o fungo hidrolizou todos os polímeros da madeira (celulose, hemicelulose e lignina) em maior proporção do que poderia digerir.

Já o valor maior de 30,52% de lignina insolúvel foi encontrado para o mogno, madeira da mesma família em estudo, valor compatível com os resultados encontrados por Santana & Okino (2007), que variaram entre 27% e 37%. Também o teor de 1,14% para a lignina solúvel está de acordo com os teores encontrados para as 36 espécies tropicais, entre 0,66% e 1,81% (Caixeta & Pastore, 2007). Neste trabalho, para o painel OSB de eucalipto sem ser atacado pelos fungos encontrou-se 31,58% de lignina insolúvel e 1,89% de solúvel, observa-se que os valores médios para a lignina solúvel, insolúvel e total estão de acordo com Souza (2002), que encontrou valores semelhantes com lignina insolúvel (23% a 29%), lignina solúvel (2%) e lignina total (28%) para clones de *Eucalyptus* spp.

Com relação aos painéis aglomerados sem ataque de fungos, os teores de lignina insolúvel foram de 26,84%, 30,86% e de 34,4% para o cedro (T2, c), mistura de cedro e pinus (T3, cp) e para a mistura de cedro e eucalipto (T4, ce). Esses mesmos painéis, quando submetidos ao fungo de podridão branca *Trametes versicolor*, apresentaram um incremento nos teores de lignina comparativamente às amostras não atacadas.

Todos os tratamentos de painéis aglomerados (T2, T3, T4) quando expostos ao fungo de podridão parda *Gloeophyllum trabeum* apresentaram um aumento no teor de lignina insolúvel, comparativamente aos painéis expostos ao fungo de podridão branca *Trametes versicolor*. O painel aglomerado da mistura de cedro e pinus (T3, cp) exposto ao fungo de podridão parda *Gloeophyllum trabeum* apresentou o maior teor de lignina insolúvel que foi de 61,17%, em consonância com a maior perda de massa que foi de 47,88%. Resultados semelhantes ocorreram no trabalho de Costa et al. (2009) estudando a biodegradação da madeira de marupá e andiroba. O fungo de podridão parda levou a um aumento progressivo da lignina, evidenciado pelo aumento na intensidade relativa das bandas de lignina e a correspondente diminuição na intensidade das bandas de carboidratos.

Com relação aos painéis OSB, o teor de lignina insolúvel variou de 30% a 38%. O painel OSB com sobreposição de camadas de pinus e cedro (T9, PCP) apresentou o maior teor de lignina insolúvel, dentre todos os tratamentos de painéis OSB confeccionados, que é de 38,32% sendo corroborado pela maior perda de massa de 10,04% quando exposto ao fungo de podridão parda *Gloeophyllum trabeum*.

Com relação aos teores de lignina solúvel os valores variaram de 0,46% a 2,23% coerentes com os valores descritos na literatura. Os maiores teores de lignina solúvel não parecem correlacionar-se com os maiores teores de perda de massa das amostras atacadas.

6 CONCLUSÕES

1: A madeira de cedro australiano foi classificado como moderadamente resistente.

2: Os painéis OSB foram classificados como resistentes e moderadamente resistentes para podridão branca. E para a parda todos foram altamente resistentes. A variação de espécies partículas não teve efeito positivo em todos os tratamentos. Com relação à madeira sólida ambos os fungos apresentaram certa inibição diante da resina fenólica dos painéis OSB.

3: Os painéis aglomerados foram classificados como moderadamente resistentes, quanto à podridão branca. Os tratamentos T2 (cedro) e T4 (cedro-eucalipto) foram resistentes já o T3 (cedro-pinus) foi não resistente ao fungo de podridão parda. A resina uréia- formaldeído não apresentou certa inibição como a fenólica.

4: Quanto aos componentes químicos encontrados na madeira de cedro australiano, pode-se concluir que estes não possuem um efeito fungicida.

5: A estrutura anatômica da madeira do cedro australiano favorece na colonização das hifas dos fungos.

6: A ferramenta colorimetria pode ser utilizada nos estudos de biodegradação da madeira.

7: Os teores de lignina insolúvel foram crescentes à medida que ocorreu a perda de massa, um fator determinante para a resistência da madeira ao ataque dos fungos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A.; FERRAZ, A. Fe³⁺ and Cu²⁺ -reduction by phenol derivates associated with Azure B degradation in Fenton-like reactions. **Chemosphere**, Oxford, v.66, n.5, p.947-954, Jan. 2007.

ALEXOPOULOS, C.J.; MIMS, C.W.; BLACKWELL, M. **Introductory mycology**. 4.ed. New York: J.Wiley, 1996. 869p.

ALVES, M.V. da S.; MENDES, A. de S. **Biodegradação e preservação da madeira**. Brasília: LPF, 2002. 41p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D-2017**: standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods. Philadelphia, 2005. 5p. (Annual Book of ASTM Standards, 410).

APENITIS, A.; ERDTMAN, H.; LEOPOLD, B. **Studies on lignin**: the decay of spruce wood by brown-rotting fungi. Swenka Kem: Tidakr, 1951. 207p.

ARAÚJO, F.S.; OLIVEIRA, J.T. de; TOMASELLO, M.; SILVA, J. de C. Resistência natural da madeira de sete espécies de eucalipto ao apodrecimento. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.29, n.6, p.993-998, nov./dez. 2005.

ARORA, D.S.; GILL, P.K. Laccase production by some White rot fungi under different nutritional conditions. **Bioresource Technology**, Essex, v.73, n.2, p.283-285, June 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **Normas técnicas**. São Paulo, 1974. 18p.

BEGON, M.; HARPER, J.L.; TOWNSEND, C.R. **Ecology**. Oxford: Blackwell Science, 1996. 1068p.

BEHR, E.A.; WITTRUP, B.A. Decay and termite resistance of two species particle boards. **Holzforschung**, Berlin, v.23, n.5, p.166-170, 1969.

BILLMEYER JUNIOR, F.W.; SATZMAN, M. **Principles of colour technology**. New York: J.Wiley, 1981. 23p.

BLANCHETTE, R.A. Screening wood decayed by white rot fungi for preferential lignin degradation. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.48, n.1, p.647-653, Jan. 1984.

BLANCHETTE, R.A.; ABAD, A.R.; FARRELL, R.L.; LEATHERS, T.D. Detection of lignin peroxidase and xylanase by immunocytochemical labeling in wood decayed by basidiomycetes. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.55, n.6, p.1457-1465, 1989.

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

BYGRAVE, F.L.; BYGRAVE, P.L. **Growing Australian red cedar**. Sydney: RIRDC/Land & Water Australia, 2005. 84p.

CAIXETA, M.L.L.; PASTORE, T.C.M. Composição química da madeira de mogno (*Swietenia macrophylla* King). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 30., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2007. 1 CD-ROM.

CAMARGOS, J.A.A. **Colorimetria aplicada na elaboração de uma tabela de cores para madeiras tropicais**. 1999. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Universidade de Brasília, Brasília.

CAMARGOS, J.A.A.; GONÇALEZ, J.C. **A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira**. Brasília: MMA, 2001. 41p. (Brasil Florestal, 71).

CARNEIRO, J.S.; EMMERT, L.; STERNADT, G.H.; MENDES, J.C.; ALMEIDA, G.F. Decay susceptibility of Amazon wood species from Brazil against white rot and brown rot decay fungi. **Sweden**, Stockholm, v.63, n.1, p.767-772, Jan. 2009.

CAVALCANTE, M.S. Métodos para aumentar a durabilidade da madeira. **Boletim da Associação Brasileira de Preservadores de Madeira**, São Paulo, n.36, p.159-170, 1985.

CLEMENTE, A.R.; DURRANT, L.R. **Degradação de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos pro fungos**. 2002. 159p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

COOKSON, L.J. The preservation of eucalypts. In: CONFERENCE OF THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS, 1., 2000, Launceston. **Proceedings...** Launceston: IUFRO, 2000. p.248-285.

COOKSON, L.J.; TRAJSTMAN, A. **Decay evaluation of the effectiveness of a losp envelope treatment in eucalypt and meranti heatwoods for window joinery**: document IRG/WP/96-30099. Stockholm: The International Research Group on Wood Preservation, 1996. 12p.

CORADIN, V.T.R.; CAMARGO, J.A.A. **A estrutura anatômica da madeira e princípios para sua identificação**. Brasília: LPF, 2002. 28p.

CORADIN, V.T.R.; MARQUES, M.H.B.; CAMARGO, J.A.A.; MUNIZ, G.B. **Chave de identificação das principais madeiras da floresta nacional do Tapajós**. Brasília: LPF, 1991. 51p. (Série Técnica, 14).

COSTA, E.W.B. da. Natural decay resistance of wood. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PLANT PATHOLOGY, 2., 1975, New York. **Proceedings...** New York: Springer-Verlag, 1975. p.203.

DIROL, D.; DEGLISE, X. **Durabilité des bois et problèmes associés**. Paris: Hermès Science, 2001. 415p.

DUFOSSÉ, L.; MABON, P.; BINET, A. Assessment of the colouring strength of *Brevibacterium linens* strains: spectrophotometry versus total carotenoid extraction/quantification. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.84, n.2, p.354-360, Feb. 2001.

EATON, R.A.; HALE, M.D.C. **Wood: decay pests and protection**. Cambridge: Chapman and Hall, 1993. 556p.

EVANS, P.D.; CREFFIELD, J.W.; CONROY, J.S.G.; BARRY, S.C. Natural durability and physical properties of particleboard composed of white cypress pine and radiata pine. **Forest Products Journal**, Madison, v.47, n.6, p.87-94, Dec. 1997.

FARMER, R.H. **Chemistry in the utilization of wood**. Oxford: Pergamon, 1967. 132p.

FERRAZ, A. **Fungos: uma introdução à biologia, bioquímica e biotecnologia**. Caxias do Sul: EDUCS, 2004. 510p.

FRANKLIN, G.L. Preparation of thin sections of synthetic resins and woodresin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, London, v.155, n.3924, p.51, 1945.

GALVAO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.

GOLÇALVES, F.G.; OLIVEIRA, J.T.S. Resistência ao ataque de cupim-de-madeira seca (*Cryptotermes brevis*) em seis espécies florestais. **Cerne**, Lavras, v.12, n.1, p.80-83, jan./jun. 2006.

GONÇALEZ, J.C. **Caracterization technologique de quatre especes peu connues de la foret amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques**. 1993. 446f. Thèse (Doctorat Cirad-Forêt)-L'Agriculture et de la Peche, Nancy.

GONÇALEZ, J.C.; JANIN, G.; SANTORO, A.C.S.; COSTA, A.F.; VALLE, A.T. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, Brasília, v.20, n.72, p.47-58, 2001.

GONÇALEZ, J.C.; MACEDO, D.G. **Colorimetria aplicada a madeira de eucalipto**. Belo Horizonte: MADETEC, 2003. 1 CD-ROM.

HATAKKA, A. Lignin-modifying enzymes from selected white-rot fungi: production and role in lignin degradation. **FEMS Microbiology Reviews**, Amsterdam, v.13, n.2, p.125-135, Nov. 1994.

HIGHLEY, T.L.; ILLMAN, B.L. Changes in cell wall components of white pine and maple by white-rot fungi. In: _____. **Biodeterioration research**. 3.ed. New York: Plenum, 1990. p.349-360.

HILLIS, W.E.; BROWM, A.G. **Eucalyptus for wood production**. Sidney: CSIRO, 1988. 434p.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMY. List of microscopic features hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.10, n.3, p.220-359, 1989.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Abril, 2005. 247p.

JONES, W.A. **Biological, mechanical, and physical properties of southern yellow pine flakeboard containing calcium borate**. 2002. 78f. Thesis (Ph.D. in Forest Products)-Mississippi State University, Jackson.

KARTAL, S.N.; GREEN, F. Decay and termiteresistance médium density fiberboard (MDF) made from different wood species. **International Biodeterioration e Biodegradation**, Birmingham, v.51, n.3, p.29-35, 2003.

KERSTEN, P.; CULLEN, D. Extracellular oxidative systems of the lignin-degrading Basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. **Fungal Genetics and Biology**, Orlando, v.44, n.2, p.77-87, Apr. 2007.

KIM, G.H.; BARNES, H.M.; LYON, D.E. Effect of decay on the mechanical properties of full-sized lumber. **Holzforschung**, Berlin, v.48, n.2, p.145-149, 1994.

KIM, Y.S.; NEWMAN, R.H. Solid state ¹³C NMR study of wood degraded by the brown rot fungus *Gloeophyllum trabeum*. **Holzforschung**, Berlin, v.49, n.2, p.109-114, 1995.

KIRK, T.K. Degradation and conversion of lignocelluloses. In: SMITH, J.E. (Ed.). **The filamentous fungi**. London: E.Arnold, 1983. v.4, p.266-295.

KIRK, T.K.; FARRELL, R.L. Enzymatic "combustion": the microbial degradation of lignin. **Annual Review of Microbiology**, Palo Alto, v.41, n.1, p.465-505, Sept. 1987.

KLOCK, U.; MUÑIS, G.I.B.; HERNANDEZ, J.A. **Química da madeira**. 3.ed. Curitiba: UFPR, 2005. 86p.

KRISHNA PRASAD, K.M.M.; RAHEEM, S.; VIJAYALEKSHMI, P.; KAMALA SASTRI, C. Basic aspects and applications of tristimulus colorimetry. **Talanta**, London, v.43, n.8, p.1187-1206, 1996.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**. Eschborn: GTZ, 1990. 343p.

LELLES, J.G. de; SILVA, J. de C. Novos usos para a madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, v.6, n.36, p.42-45, 1998.

LEPAGE, E.S. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v.1, 342p.

LIMA, A.F.; JARÁ, E.R.P.; ALFONSO, V.A. Madeira como matéria-prima para fabricação de pasta celulósica. In: PHILIPP, P.; ALMEIDA, M.L.O. **Celulose e papel**: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2.ed. São Paulo: IPT, 1988. p.129-167.

LIMA, T.G. **Variações no sentido radial e longitudinal de algumas propriedades das madeiras de *Eucalyptus microcorys* F. Muell e *Eucalyptus pilularis* Sm.** 1996. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MADY, F.T.M. **Conhecendo a madeira**: informações sobre 90 espécies comerciais. Manaus: SEBRAE, 2000. 212p.

MALAIRAJAN, P.; GOPALAKRISHNAN, G.; NARASIMHAN, S.; VENI, J.K.; KAVIMANI, S. Anti-ulcer activity of crude alcoholic extract of *Toona ciliata* Roemer (heartwood). **Journal of Ethnopharmacology**, Lausanne, v.110, n.2, p.348-351, 2007.

MALONEY, T.M. **Modern particleboard e dry-process fiberboard**. San Francisco: M.Freeman, 1993. 681p.

MANGIALAVORI, A.; MINETTI, M.; MOSCOVICH, F.; CRECHI, E. Dasometria en plantaciones comerciales de toona (*Toona ciliate* var. *australis*) em la Provincia de Salta. In: JORNADAS TÉCNICAS FORESTALES Y AMBIENTALES, 10., 2003, Eldorado. **Anais...** Eldorado: Facultad de Ciências Forestales, 2003. 1 CD-ROM.

MARECHAL FLORIANO. Prefeitura Municipal. **Relevo**. Disponível em: <<http://www.marechalfloriano.es.gov.br>>. Acesso em: 20 fev. 2010.

MARRA, A.A. **Technology of wood bonding**. New York: V.N.Reinhold, 1992. 453p.

METCALFE, C.R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons**. 2.ed. Oxford: Cleredon, 1983. 276p.

MORI, C.L.S.O.; LIMA, J.T.; MORI, F.A.; TRUGILHO, P.F.; GONÇALEZ, J.C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Revista Cerne**, Lavras, v.11, n.2, p.137-146, jul./dez. 2005.

MORI, C.L.S.O.; LIMA, J.T.; TRUGILHO, P.F.; GONÇALEZ, J.C.; OLIVEIRA, A.C. Colorimetria aplicada a determinação da cor da madeira de *Eucalyptus* spp. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: EBRAMEM, 2004. 1 CD-ROM.

MORI, C.L.S.O.; MORI, F.A.; LIMA, J.T.; TRUGILHO, P.F.; OLIVEIRA, A.C. Influência das características tecnológicas na cor da madeira de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.14, n.2, p.123-132, mar./abr. 2004.

MORI, C.L.S.O.; MORI, F.A.; MENDES, L.M.; SILVA, J.R.M. da. Caracterização da madeira de Angico Vermelho (*Anadenanthera peregrina* (Benth) Speng) para confecção de móveis. **Revista Brasil Florestal**, Brasília, v.77, n.1, p.29-36, jan. 2003.

MORI, F.A.; LIMA, J.T.; TRUGILHO, P.F.; GONÇALES, J.C. Utilização de eucaliptos e madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.3, p.396-400, set./dez. 2003.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard**. Carbondale: Illinois University, 1974. v.2, 244p.

MÜLLER, U.; RÄTZSCH, M.; SCHWANNINGER, M.; STEINER, M.; ZÖBL, H. Yellowing and IR-changes of spruce wood as result of UV-irradiation. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, Lausanne, v.69, n.2, p.97-105, Feb. 2003.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **Chemical analysis and testing task**: laboratory analytical procedure. Golden, 1996. 7p.

NZOKOU, P.; ZYSKOWKI, J.; BOURY, S.; KAMDEM, D.P. Natural decay resistance of LVL made of veneers from durable and nondurable wood species. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, v.63, n.3, p.173-178, Mar. 2005.

OKINO, E.Y.A. Biodegradação de chapas de partículas orientadas de pinus, eucalipto e cipreste expostas a quatro fungos apodrecedores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.74, p.67-74, set. 2007.

OKINO, E.Y.A.; ALVES, M.V.S.A.; TEIXEIRA, D.E.; SOUZA, M.R.; SANTANA, M.A.E.; MENEZZI, C.H.S.D. Ensaio acelerado de laboratório de chapas OSB de seringueira submetidas ao ataque de fungos apodrecedores. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.19, n.3, p.99-107, jul./set. 2009.

OKINO, E.Y.A.; ANDAHUR, J.P.V.; SANTANA, M.A.E.; SOUZA, M.R. de. Resistência físico mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente. **Scientia Forestals**, Piracicaba, n.52, p.35-42, dez. 1997.

OKINO, E.Y.A.; PASTORE, T.C.M.; CAMARGOS, J.A.A.C.; ALVES, M.V.S.A.; SANTOS, P.H.O.; TEIXEIRA, D.E.; SANTANA, M.A.E. Color variation of rubberwood clones and cypress infected by *Gloeophyllum striatum* and *Phanerochate chrysosporium*. **International Biodeterioration Biodegradation**, Barking, v.63, n.1, p.41-45, Jan. 2009.

OKINO, E.Y.A.; SANTANA, M.A.E.; SOUZA, M.R.; SOUSA, M.E. de; ALVES, M.V.S. Propriedades físicas, mecânicas e durabilidade natural de chapas aglomeradas de *Hevea brasiliensis* Müell Arg. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBS, 2003. 1 CD-ROM.

OKINO, E.Y.A.; TEIXEIRA, D.E.; SOUZA, M.R. de; SANTANA, M.A.E.; SILVA, C.B.G. da; TOMAZ, R.B.; SOUSA, M.E. Durabilidade natural de madeira sólida, de chapas aglomeradas e de chapas de cimento-madeira de *Hevea brasiliensis*. **Brasil Florestal**, Brasília, v.21, n.74, p.53-60, set. 2002.

OKINO, E.Y.A.; TEIXEIRA, D.E.; SOUZA, M.R. de; SANTANA, M.A.E.; SOUSA, M.E. de. Properties of oriented strandboard made of wood species from Brazilian planted forests: part 1- 80 mm-long strands of *Pinus taeda* L. **Holz Roh Werkstoff**, Berlin, v.62, n.1, p.221-224, 2004.

OLIVEIRA, A.M.F. Agentes destruidores da madeira. In: LEPAGE, E.S. (Coord.). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v.1, p.99-256.

OLIVEIRA, J.T.S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 429f. Tese (Doutorado em Engenharia)-Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, J.T.S.; DELLA LUCIA, R.M.; LIMA, L.A.P. **Ensaio de apodrecimento acelerado de madeira na forma de serragem**. Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 1994. 6p. (Boletim Técnico, 5).

OLIVEIRA, J.T.S.; SOUZA, L.C. de; DELLA LUCIA, R.M.; SOUZA JUNIOR, W.P. de. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.29, n.5, p.819-826, set./out. 2005.

PASTORE, T.C.M. **Estudos do efeito da radiação ultravioleta em madeiras por espectroscopias RAMAN (FT-RAMAN), de refletância difusa no infravermelho (DRIFT) e no visível (CIE-L*a*b*)**. 2004. 131p. Tese (Doutorado em Química Analítica)-Universidade de Brasília, Brasília.

PELCZAR JUNIOR, M.J.; CHAN, E.C.S.; KRIEG, N.R. **Microbiologia**. 2.ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 1997. 746p.

PEREYRA, O.; SUIREZS, T.M.; PITSCH, C.; BAÉZ, R. Estudio de las propiedades físico-mecánicas y comportamiento em procesos industriales de la madera de Kiri, Gravillea, Paraíso y Toona. **Floresta**, Curitiba, v.36, n.2, p.213-223, dez. 2006.

PETERSSSEN, R.C. The chemical composition of wood. In: ROWELL, R.M. (Ed.). **The chemistry of solid wood**. Washington: American Chemical Society, 1984. p.54-126.

PINHEIRO, A.L.; LANI, J.L.; COUTO, L. **Cedro-Australiano**: cultivo e utilização (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (F. Muell) Bahadur. Viçosa, MG: UFV, 2006. 42p.

POINTING, S.B.; PELLING, A.L.; SMITH, G.J.D.; HYDE, K.D.; REDDY, C.A. Screening of basidiomycetes and xylariaceous fungi for lignin peroxidase and laccase gene-specific sequences. **Mycological Research**, Cambridge, v.109, n.1, p.115-124, Jan. 2005.

RAJARATHNAM, S.; BANO, Z. *Pleurotus* mushrooms: part III, biotransformations of natural lignocellulosic wastes: commercial applications and implications. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v.28, n.1, p.31-113, Jan. 1989.

RAYNER, A.D.M.; BODDY, L. **Fungal decomposition of wood**: its biology and ecology. Great Britain: J.Wiley, 1988. 587p.

RICHTER, H.G.; BURGER, L.M. **Anatomia da madeira**. 2.ed. Curitiba: UFPR, 1978. 78p.

SÁ, V.A. **Potencial da madeira de Cedro Australiano (*Toona ciliata* m. roem *var. australis*) na manufatura de produtos de maior valor agregado**. 2009. 103p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SANTANA, M.A.E.; OKINO, E.Y.A. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. **Chemical Composition of Brazilian Tropical Woods**, São Paulo, v.61, n.5, p.469-477, Aug. 2007.

SAPERS, G.M. Color characteristics and stability of nonbleeding cocktail cherries dyed with carotenoid-pigments. **Journal of Food Science**, Chicago, v.59, n.1, p.135-138, Sept. 1994.

SCHMIDT, E.; FRENCH, D.W.; GERTJEJANSE, R.; HERMAN, J.; HALL, H. Strength reduction in particleboard caused by fungi. **Forest Products Journal**, Madison, v.28, n.2, p.26-30, 1978.

SEAN, T.G.; BRUNETTE, F.; CÔTÉ, A. Protection of oriented strandboard with borate. **Forest Products Journal**, Madison, v.49, n.6, p.47-51, Dec. 1999.

SHULTZ, T.P.; HARMS, W.B.; FISCHER, T.H.; MCMURTREY, K.D.; MINN, J.; NICHOLAS, D.D. Durability of angiosperm heartwood: the importance of extractives. **Holzforschung**, Berlin, v.49, n.1, p.29-34, 1995.

SILVA, J.C. Eucalipto: a madeira do futuro. **Revista da Madeira**, Curitiba, v.14, p.114-116, 2001. Edição especial.

SILVA, J.C.; LOPES, A.G.C.; OLIVEIRA, J.T.S. Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.29, n.3, p.455-460, maio/jun. 2005.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry**: fundamentals and application. London: Academic, 1993. 293p.

SOUZA, M.A.M. **Deformação residual longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones de híbridos de *Eucalyptus***. 2002. 72p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

STEWART, C.M. **The formation and chemical composition of hard-woods**. Melbourne: CSIRO, 1969. 744p.

SWAMY, J.; RAMSAY, J.A. The evaluation of white rot fungi in the decoloration of textile dyes. **Enzyme and Microbial Technology**, New York, v.24, n.1, p.130-137, Jan. 1999.

SWIFT, M.J.; HEAL, D.W.; ANDERSON, J.M. **Studies in ecology-decomposition in terrestrial and aquatic ecosystems**. Oxford: Blackwell, 1979. 94p.

TANAKA, H.; ITAKURA, S.; ENOKI, A. Hydroxyl radical generation by an extracellular lowmolecular-weight substance and phenol oxidase activity during wood degradation by the white rot basidiomycete *Trametes versicolor*. **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v.75, n.1, p.57-70, Feb. 1999.

TAVARES, A.P.M. **Produção de lacase para potencial aplicação como oxidante na indústria papelreira**. 2006. 74f. Tese (Doutorado em Química)-Universidade de Aveiro, Aveiro.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Preparation of wood for chemical analysis**: T264 om-88. Atlanta, 1996a. 2p.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Solvent extractives of wood and pulp**: T204 om-88. Atlanta, 1996b. 3p.

THOMAS, R.J. Wood structure and chemical composition. In: GOLDSTEIN, I.S. **Wood technology**: chemical aspects. Washington: American Chemical Society, 1977. p.1-23. (ACS Symposium Series, 43).

THOMPSON, R.M. **Resistência de painéis de partículas orientadas (OSB) tratados termicamente frente ao intemperismo**. 2006. 69p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)-Universidade de Brasília, Brasília.

TREVISAN, H.; CARVALHO, A.G.; TIEPPO, F.M.M.; LELIS, R.C.C. Avaliação de propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais em função da deterioração em dois ambientes. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.31, n.5, p.30-37, set./out. 2007.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v.2, n.1, p.94-111, jan./jun. 1996.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MORI, F.A. Correlação canônica das características químicas e físicas de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v.9, n.1, p.66-80, jan./jun. 2003.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. New York: V.N.Reinold, 1991. 494p.

TUOR, U.; WINTERHALTER, K.; FIECHTER, A. Enzymes of white-rot-fungi involved in lignin degradation and ecological determinants for wood decay. **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v.41, n.1, p.1-17, July 1995.

VETTER, R.E.; CORADIN, V.R.; MARTINO, E.C.; CAMARGOS, J.A.A. Wood colour: a comparison between determinations methods. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.11, n.4, p.429-439, 1990.

WANG, S.; LITTELL, R.C.; ROCKWOOD, D.L. Variation in density and moisture content of wood and bark among twenty *Eucalyptus grandis*. **Wood Science and Technology**, New York, v.18, n.2, p.97-112, Nov. 1984.

WETZSTEIN, H.G.; TICHY, H.V.; DALHOFF, A.; KARL, W. Degradation of ciprofloxacin by basidiomycetes and identification of metabolites generated by the brown rot fungus *gloeophyllum striatum*. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.65, n.4, p.1556-1563, Apr. 1999.

WORRALL, J.J.; ANAGNOST, S.E.; ZABEL, R.A. Comparison of wood decay among diverse lignicolous. **Mycologia**, New York, v.89, n.2, p.199-219, 1997.

ZABEL, R.A.; MORRELL, J.J. Natural decay resistance. In: _____. **Wood microbiology**: decay and its prevention. San Diego: Academic, 1992. p.399-411.

ZIECH, R.Q.S. **Estudo das características tecnológicas da madeira de cedro australiano (*toona ciliata* m. Roem)**. 2008. 74p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.