

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

Sabrina Finatto Machado

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DAS MADEIRAS DE *Melia
azedarach* L., *Cordia americana* (L) GOTTSCHLING J. S. MILL. E
Parapiptadenia rigida BENTH SUBMETIDAS À BIODEGRADAÇÃO**

Santa Maria, RS
2016

Sabrina Finatto Machado

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DAS MADEIRAS DE *Melia azedarach* L., *Cordia americana* (L) GOTTSCHLING J. S. MILL. E *Parapiptadenia rigida* BENTH
SUBMETIDAS À BIODEGRADAÇÃO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**

Orientador: Prof. Dr. Darci Alberto Gatto

Santa Maria, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Machado, Sabrina Finatto
Propriedades tecnológicas das madeiras de Melia
azedarach L., Cordia americana (L) Gottschling J. S.
Mill. e Parapiptadenia rigida Benth submetidas à
biodegradação / Sabrina Finatto Machado.-2016.
91 f.; 30cm

Orientador: Darci Alberto Gatto
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2016

1. Durabilidade 2. Campo de apodrecimento 3.
Apodrecimento acelerado I. Gatto, Darci Alberto II.
Título.

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Carlos Vargas. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

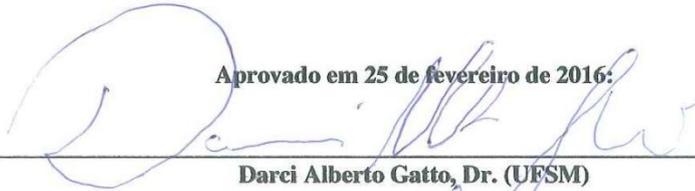
E-mail: sabrinamfinatto@gmail.com

Sabrina Finatto Machado

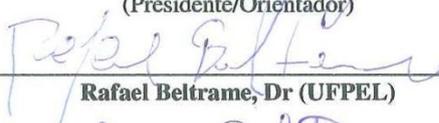
**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DAS MADEIRAS DE *Melia azedarach* L., *Cordia americana* (L) GOTTSCHLING J. S. MILL. E *Parapiptadenia rigida* BENTH
SUBMETIDAS À BIODEGRADAÇÃO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**

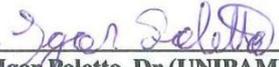
Aprovado em 25 de fevereiro de 2016:



Darci Alberto Gatto, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Rafael Beltrame, Dr (UFPEL)



Igor Poletto, Dr (UNIPAMPA)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

*A VIDA, por ter permitido que eu cumprisse mais uma
etapa ao longo dessa caminhada.
Aos meus pais que, com muita dedicação e amor, me deram
muito mais do que a vida.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de prestar meu sincero agradecimento ao meu amado pai, por todo auxílio, paciência e dedicação, graças a ele deu-se início a este trabalho e a minha mãe pelo carinho e apoio.

- ao meu companheiro Tiago Ávila pela compreensão e carinho durante todos os momentos.

- ao meu Orientador Professor Dr Darci Alberto Gatto pela confiança, respeito e orientação durante a realização deste trabalho.

-ao Professor Dr Rafael Beltrame pelo auxílio e sugestões.

- aos colegas André Luiz Missio, Anderson Bertuzzatti, Bruno Conte, Rodrigo Coldebella, Paulo Machado, Aldeize Santos, Danilo Leão de Freitas e Caetano Serrote pela ajuda, gratidão e trocas de conhecimentos.

- ao pessoal do Laboratório de Química da Madeira da UFSM, pela amizade, auxílio e pelos bons momentos que trabalhamos juntos.

- à minha Co-orientadora Professora Dra Cristiane Pedrazzi por toda orientação, agradável convivência e aprendizagem durante este período.

- ao funcionário Nelson do Laboratório de Produtos Florestais da UFSM.

- à Paola e Leandro (UNIPAMPA) e Caroline Soares (UFPEL) pelo auxílio durante as práticas no Laboratório e pelos momentos de bom convívio e amizade.

- à minha irmã, obrigada por estar comigo, pelo carinho, amizade e pelos dois anos de convivência.

- à minha querida amiga Daniela Lilge pela amizade, conhecimento transmitido e estímulos durante mais uma etapa cumprida.

- à Universidade Federal de Santa Maria, especialmente ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade de realizar este estudo e pela estrutura fornecida.

- à Universidade Federal de Pelotas e a Universidade Federal do Pampa pelo espaço cedido durante o desenvolvimento deste estudo.

- ao Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro pelo fornecimento de material necessário à presente pesquisa.

- a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DAS MADEIRAS DE *Melia azedarach* L., *Cordia americana* (L) GOTTSCHLING J. S. MILL. E *Parapiptadenia rigida* BENTH SUBMETIDAS À BIODEGRADAÇÃO

AUTORA: Sabrina Finatto Machado
ORIENTADOR: Darci Alberto Gatto

A presente pesquisa teve por objetivo avaliar as propriedades tecnológicas da madeira de três espécies florestais submetidas à biodegradação. Para tanto, foram utilizadas árvores de Guajuvira, Angico vermelho e Cinamomo pertencentes à Floresta Estacional Decidual, localizada na cidade de Jaguari – RS com idades entre 32 à 45. Após o corte, as toras foram desdobradas e foi retirado o pranchão central com 7,0 cm de espessura e 20,0 cm de largura e na sequência foram confeccionados os corpos de prova. Logo, foram armazenados em câmara climatizada à temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%, onde permaneceram até atingir o equilíbrio higroscópico. A instalação dos ensaios de campo foi realizada em três regiões distintas: Santa Maria, São Gabriel e Pelotas. A cada 60 dias, 10 amostras por tratamento foram retiradas em cada região, as quais foram acondicionadas em câmara climatizada, sob as mesmas condições iniciais e submetidas aos testes de umidade de equilíbrio (TU), massa específica aparente, perda de massa, colorimetria, avaliação do índice de deterioração, flexão estática, dureza Janka, análise química e ao ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório. Com base nos resultados obtidos observou-se que a madeira de Guajuvira e Angico-vermelho apresentaram melhores propriedades tecnológicas em relação ao Cinamomo, com alta durabilidade natural quando submetidas às condições de deterioração e altamente resistentes à ação de fungos apodrecedores, com melhor aptidão para utilização em ambientes externos sob condições adversas e em contato direto com o solo. Já a madeira de Cinamomo não apresentou boa durabilidade quando exposta diretamente em contato com o solo, com decréscimo acentuado de suas propriedades mecânicas e físicas.

Palavras-chave: Durabilidade. Campo de apodrecimento. Apodrecimento acelerado.

ABSTRACT

TECHNOLOGICAL PROPERTIES UNDER WOOD *Melia azedarach* L., *Cordia americana* (L) GOTTSCHLING J. S. MILL. E *Parapiptadenia rigida* TO BIODEGRADATION

AUTHOR: Sabrina Machado Finatto

ADVISOR: Darci Alberto Gatto

This research aimed to evaluate the technological properties of wood three forest species subjected to biodegradation. To this end, *C. americana*, *P. rigida* and *M. azedarach* trees belonging to a forest, located in Jaguari - RS, aged 32 to 45, were used. After cutting, the logs have been broken down into a central plank with 7.0 cm thick and 20.0 cm wide and following the specimens were made. So they were stored in a climatic chamber at temperature of 20 ° C and relative humidity of 65%, where they remained until the equilibrium moisture content. The installation of field trials took place in three distinct regions: Santa Maria, São Gabriel and Pelotas. Every 60 days, ten samples per treatment were taken in each region, which were placed in a climatic chamber under the same initial conditions and subjected to equilibrium moisture test (TU), density, weight loss, colorimetry, evaluation of the deterioration index, bending, hardness, chemical analysis and testing of accelerated decay in the laboratory. Based on the results it was observed the wood of *C. americana*, *P. rigida* showed better technological properties with respect to *M. azedarach* wood, with high durability when subjected to natural conditions of deterioration and highly resistant to the action of decay fungi. On the other hand *M. azedarach* wood did not show good durability when exposed directly in contact with the ground, with a significant reduction of their mechanical and physical properties.

Keywords: Durability. Rot camp. accelerated decay.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	ESPÉCIES ESTUDADAS.....	12
2.1.1	<i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling J. S. Mill.....	12
2.1.2	<i>Melia azedarach</i> L.	13
2.1.3	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth)	13
2.2	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA	14
2.2.1	Celulose.....	15
2.2.2	Hemicelulose.....	16
2.2.3	Lignina.....	17
2.2.4	Extrativos.....	19
2.3	BIODETERIORAÇÃO DA MADEIRA.....	20
2.4	ENSAIOS PARA AVALIAR A DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA	22
2.5	FOTODEGRADAÇÃO DA MADEIRA	22
2.6	COLORIMETRIA APLICADA À MADEIRA	23
2.7	PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA.....	25
3	MATERIAL E METODOS	27
3.1	OBTENÇÃO DA MATÉRIA PRIMA	27
3.2	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	28
3.3	ENSAIO DE CAMPO	28
3.3.1	Delineamento experimental	28
3.3.2	Caracterização das Regiões Experimentais	29
3.3.3	Instalação do Ensaio de Campo	30
3.4	ANÁLISE QUÍMICA.....	31
3.5	UMIDADE DE EQUILÍBRIO	32
3.6	MASSA ESPECÍFICA APARENTE	32
3.7	PERDA DE MASSA	33
3.8	TESTES DE FLEXÃO ESTÁTICA.....	33
3.9	DUREZA JANKA	34
3.10	ÍNDICE DE DETERIORAÇÃO	34
3.11	COLORIMETRIA	34
3.12	ENSAIO DE LABORATÓRIO.....	35
3.12.1	Preparo das amostras e obtenção dos fungos apodrecedores	35
3.12.2	Preparo dos recipientes para o ensaio de apodrecimento acelerado	36
3.12.3	Inoculação dos fungos	37
3.13	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS	39
4.2	PROPRIEDADES QUÍMICAS	41
4.3	EFEITO DOS TRATAMENTOS NOS PARÂMETROS AVALIADOS.....	44
4.4	UMIDADE DE EQUILÍBRIO	46
4.5	MASSA ESPECÍFICA APARENTE	48
4.6	PERDA DE MASSA	52
4.7	PROPRIEDADES MECÂNICAS	56
4.7.1	Flexão estática	56

4.7.2	Dureza Janka	62
4.8	ÍNDICE DE DETERIORAÇÃO	64
4.9	ALTERAÇÃO COLORIMÉTRICA	67
4.10	ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO EM LABORATÓRIO	75
5	CONCLUSÃO	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
	APÊNDICES	87
	APÊNDICE A – ASPECTO DA MADEIRA DE <i>P. rigida</i> SUBMETIDA AO ENSAIO DE CAMPO DE APODRECIMENTO EM REGIÕES EXPERIMENTAIS	88
	APÊNDICE B – SEXTA AVALIAÇÃO DA MADEIRA DE <i>M. azedarach</i> SUBMETIDA AO ENSAIO DE CAMPO DE APODRECIMENTO NAS REGIÕES EXPERIMENTAIS DE SANTA MARIA (1), SÃO GABRIEL (2) E PELOTAS (3)	89
	APÊNDICE C- SEXTA AVALIAÇÃO DA MADEIRA DE <i>C. americana</i> SUBMETIDA AO ENSAIO DE CAMPO DE APODRECIMENTO NAS REGIÕES EXPERIMENTAIS DE SANTA MARIA (1), SÃO GABRIEL (2) E PELOTAS (3)	90
	APÊNDICE D – ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO EM LABORATÓRIO	91

1 INTRODUÇÃO

A madeira é amplamente utilizada pelo homem por ser um material renovável e possuir propriedades tecnológicas desejáveis que favorecem seu uso na construção civil e na indústria moveleira, características essas atribuídas à boa trabalhabilidade, alta resistência mecânica, bom isolante térmico e boa durabilidade. Além disso, a madeira possui ampla variedade de processamento podendo ser serrada, laminada, picada, moída e reconstituída em várias maneiras.

Cabem aos consumidores, pesquisadores e profissionais explorar de maneira sustentável esta riqueza renovável, atendendo suas necessidades de emprego, porém a pesquisa tem se limitado a determinados gêneros arbóreos, o que provoca uma carência de informações sobre as características de algumas espécies de madeiras.

A utilização intensiva da madeira para diversos fins industriais exige o conhecimento adequado de suas propriedades tecnológicas, justificando assim a realização de estudos que visem contribuir para inovação e melhoria da qualidade final do produto. Por ser de origem orgânica, a madeira está sujeita à deterioração por agentes biológicos como fungos, insetos, bactérias e agentes abióticos que auxiliam o processo de degradação dos seus componentes estruturais, o que leva a prejuízos econômicos e muitas vezes irreversíveis por afetar a qualidade do produto final desejado.

Quando exposta às condições de umidade, radiação solar, forças mecânicas e calor, a madeira está sujeita à decomposição química, física e mecânica, pois esses fatores se relacionam com sua durabilidade natural. Assim, surge a importância de estudar o comportamento da madeira diante das condições favoráveis ao processo de deterioração que podem limitar a sua utilização em determinada região. Avaliar a durabilidade natural da madeira não apenas torna possível conhecer suas propriedades tecnológicas, como também permite recomendações quanto à utilização da madeira em contato direto com o solo.

A durabilidade natural de uma madeira é a capacidade que a mesma apresenta de resistir à ação de agentes responsáveis por sua degradação (GOMES & FERREIRA, 2002). Conforme Stangerlin (2012), a madeira sofre deterioração por agentes biológicos dependendo do local e da sua forma de utilização, os fungos apodrecedores são os principais organismos que provocam a destruição dos componentes estruturais da madeira. Dessa forma, os fungos são os maiores responsáveis por grandes perdas econômicas no que tange a utilização de peças madeireiras (MENDES & ALVES, 1988).

Algumas das conseqüências provocadas por fungos apodrecedores são as alterações na cor natural da madeira com ocorrência de manchas escuras na área atacada e a perda de resistência em função do consumo de lignina. Além de alterar as propriedades físicas e mecânicas, causando destruição das moléculas que constituem a parede celular (IPT, 2001). Entre as propriedades físicas da madeira, a massa específica é uma das mais prejudicadas pela ação de fungos apodrecedores, pois tende a diminuir com a progressão desses microorganismos (MORAIS et al., 2007).

A influência do ambiente onde a madeira se encontra é um fator que deve ser considerado ao avaliar sua durabilidade natural. Uma mesma madeira pode apresentar comportamento diferente em ambientes distintos devido às diferentes características de umidade, insolação, aeração, temperatura e diversidade de microorganismos xilófagos (CAVALCANTE, 1985).

Diante do exposto, este estudo procurou avaliar as madeiras de *Melia azedarach* (Cinamomo), *Cordia americana* (Guajuvira) e *Parapiptadenia rigida* (Angico-vermelho) quanto ao seu comportamento diante de condições favoráveis à deterioração em três regiões distintas no Rio Grande do Sul, buscando contribuir para melhor conhecimento e utilização das madeiras estudadas. As três espécies florestais estudadas possuem grande potencial para utilização em ambientes externos, porém são necessários mais estudos sobre suas propriedades tecnológicas para que se possa conhecer seu comportamento diante de condições propícias à deterioração.

O objetivo geral do presente estudo foi avaliar as propriedades tecnológicas das madeiras de Cinamomo, Guajuvira e Angico-vermelho submetidas à biodegradação em campo de apodrecimento e ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório.

Os objetivos específicos foram:

- Quantificar a perda de massa da madeira submetida ao ensaio de campo de apodrecimento em três áreas experimentais distintas;

- Avaliar as propriedades mecânicas da madeira submetida à deterioração em campo de apodrecimento;

- Quantificar a perda de massa da madeira submetida ao ataque de fungos de podridão branca e parda e classificá-las quanto ao nível de resistência;

- Comparar os parâmetros avaliados entre as três espécies florestais submetidas às condições de deterioração, de modo a definir qual apresenta melhor potencialidade para ser utilizada em ambientes externos;

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ESPÉCIES ESTUDADAS

2.1.1 *Cordia americana* (L.) Gottschling J. S. Mill.

A *Cordia americana* popularmente conhecida como Guajuvira é uma árvore caducifólia com 10 a 15 m de altura, podendo alcançar até 30 m na idade adulta, e DAP de 20 a 40 cm, possui tronco geralmente tortuoso e irregular com reentrâncias na base. A casca apresenta espessura de até oito mm, levemente fissurada no sentido longitudinal, formando placas retangulares descamantes (CARVALHO, 2004).

De acordo com Lorenzi (2002), a Guajuvira pertence à família Boraginaceae, ocorre do Noroeste do Rio Grande do Sul até São Paulo. A madeira é moderadamente pesada, com massa específica 0,78 g/cm³, o cerne é escuro, às vezes quase negro (LORENZI, 2002).

As células do raio, de parênquima axial e fibras apresentam microcristais com formato de areia (RICHTER, 2009). Conforme Almeida (2013), a Guajuvira apresenta porosidade difusa, poros solitários, geminados e múltiplos de 3, parênquima axial paratraqueal vasicêntrico escasso.

A madeira possui uma superfície lisa, lustrosa e grã direita a irregular, sua secagem é considerada difícil, com ocorrência de rachaduras se as condições forem muito drásticas e devido sua alta massa específica seu processamento com ferramentas manuais ou máquinas torna-se difícil (IPEF, 2013).

A madeira da Guajuvira apresenta boa flexibilidade e elasticidade, podendo facilmente ser vergada. Além disso, é indicada para construção civil, em vigas, caibros, ripas, batentes de portas e janelas, postes, moirões, estacas, dormentes e cruzetas; cabos de ferramentas, peças torneadas e carroçarias; móveis de luxo e folhas faqueadas decorativas (CARVALHO, 2004).

Simões et al. (1998), encontraram na constituição química da Guajuvira quinonas na madeira e cumarina na casca. Segundo Wasjutin (1958), a madeira da Guajuvira apresenta comprimento das fibras de 1,14 mm e lignina de 32,99 %.

De acordo com Carvalho (2004), quando exposta a condições de intemperismo e em contato com o solo, a Guajuvira apresenta alta resistência ao apodrecimento, com cerne durável, porém o alburno sofre deterioração.

2.1.2 *Melia azedarach* L.

A espécie *Melia azedarach*, conhecida como cinamomo-gigante, pertencente à família Meliaceae, tem sua origem na Ásia, também ocorre na Índia, Nova Guiné, Austrália e Indonésia. Ocorre em regiões de clima temperado, subtropical e tropical, (SHUMACHER et al 2005). De acordo com Backes (2004), o cinamomo é uma planta rústica de rápido crescimento e fácil cultivo, a madeira é de boa qualidade podendo ser utilizada na fabricação de móveis finos.

O Cinamomo possui um tronco pardo-acinzentado com fissuras longitudinais e oblíquas com DAP variando entre 40 a 60 cm (CABEL, 2006). A madeira apresenta densidade moderada entre 0,52 a 0,66 g/cm³ (LORENZI, 2002). Possui boa trabalhabilidade em todas as operações manuais e mecânicas, aceita com facilidade colas e vernizes com satisfatórios acabamentos, exibindo desenhos atraentes (CARVALHO, 1999).

A madeira de Cinamomo apresenta cerne, alburno e anéis de crescimento distintos com grã regular, textura média a fina e porosidade em anel, poros solitários e múltiplos. Parênquima axial vasicêntrico confluyente, em faixas e marginal, raios estreitos a largos e heterogêneos (TRIANOSKI, 2010). O cerne apresenta coloração castanho-claro-avermelhado, gosto e cheiro imperceptíveis (IPT, 2015). Quanto à sua constituição química, o teor de extrativos encontrados por Trianoski (2010) foi de 4,41 %, de lignina foi 22,64 % e de holocelulose foi de 72,37 %.

Conforme Schumacher et al. (2005), a madeira de cinamomo é empregada na fabricação de móveis, serraria, laminados, compensados, estacas, vigas e ainda pode ser usada em sistemas agroflorestais.

A durabilidade natural da madeira de *M. azedarach* é considerada baixa quando em contato direto com o solo, porém em ambientes com condições normais de umidade a madeira não é atacada por agentes xilófagos (BABADILA, 2004). Trevisan et al. (2007), por meio de estudos sobre a degradação natural de cinco espécies florestais na presença de coleobrocas e térmitas, perceberam que *Melia azedarach* foi a espécie com menor índice de degradação.

2.1.3 *Parapiptadenia rigida* (Benth)

Conhecida como angico, a *Parapiptadenia rigida* é uma espécie nativa do Brasil, pertencente à família Mimosaceae. No Rio Grande do Sul a floração ocorre de outubro a

janeiro e a frutificação de maio a julho, pode atingir uma altura de até 35 m e 140 cm de DAP quando adulta (CARVALHO, 2002).

A madeira é pesada, com massa específica em torno de $0,85 \text{ g/cm}^3$, compacta, bastante dura, composta de fibras grossas e revessas, de grande durabilidade, além disso, é excelente para obras hidráulicas e expostas, postes, carvão, resina, construção civil e naval, utilizada em marcenaria e carpintaria, podendo ser utilizada em reflorestamento (LORENZI, 2002). A madeira é resistente à umidade e organismos xilófagos. A *Parapiptadenia rigida* é apropriada para reflorestamento ao longo de rios, margens de reservatórios das hidroelétricas para formação do estrato superior sob o qual poderão se desenvolver outras espécies que possuem preferência por sombras (MATTOS, 2002).

Conforme Mori et al. (2007), apresenta estrias e veias onduladas tornando-a assim uma espécie muito agradável com relação à beleza de sua madeira, dessa forma oferece excelente superfície de envernizamento.

De acordo com Muñoz et al. (2009), a madeira de Angico possui alburno branco-amarelado e cerne castanho-rosado, devido ao entrelaçamento da grã, apresenta desenho suave do tipo espigado ou plumoso. Os anéis de crescimento são distintos, marcados por fibras radialmente estreitas, no lenho tardio e parênquima terminal cristalífero e estreito. A permeabilidade às soluções preservantes da madeira de angico é baixa devido à presença de poros obstruídos por óleo-resina e tilos (MANIERI E CHIMELO, 1989).

2.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

Estudar as propriedades químicas da madeira é de extrema importância, uma vez que elas estão diretamente relacionadas com sua durabilidade natural, pois algumas espécies apresentam em sua composição grupos que atuam como preservantes contra a ação de fungos e insetos, influenciando no processo de degradação da madeira (TREVISAN, 2006). Conhecer a constituição química da madeira contribui para sua classificação de durabilidade natural (GONÇALVES et al., 2013).

Conforme Pastore (2008), a composição da madeira é de basicamente três polímeros: celulose, hemicelulose e lignina, distribuídos na parede celular em uma proporção de aproximadamente 50:25:25 e também outros compostos de baixo peso molecular, formado por extrativos e substâncias minerais. Carvalho et al. (2009), afirmam que a proporção dos componentes da parede celular depende da espécie vegetal podendo variar de camada para camada. As madeiras de folhosas apresentam uma porcentagem de aproximadamente 45% de

celulose, 20% de lignina e 30% de hemicelulose e apenas 3% de extrativos (MORAIS et al., 2005; DE PAULA, 1981).

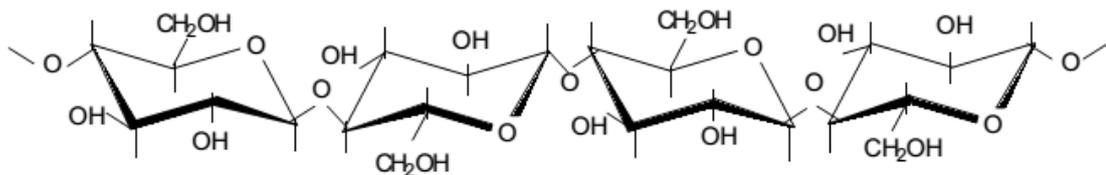
A madeira é a principal e abundante fonte de celulose sob forma de fibras. Sua estrutura é baseada no arranjo celular e, principalmente na composição química das substâncias da parede celular. A celulose, hemicelulose e lignina são os três principais constituintes químicos da madeira, sendo os dois primeiros polissacarídeos e o último, um polímero aromático (MOREY, 1980).

2.2.1 Celulose

A celulose é um polímero linear de elevado grau de polimerização, sendo o principal componente estrutural da parede celular e responsável pela maior parte das propriedades da madeira. É um composto orgânico que consiste de cadeias lineares de D-glucopiranosose β – 1,4 unidas por pontes de hidrogênio em estrutura cristalina. A unidade de repetição da celulose é a cebiose, que possui dois açúcares e apresenta áreas amorfas, onde a estrutura deixa de ser ordenada e passa por irregularidades. Cerca de 50 a 70% das regiões cristalinas formam a estrutura das fibras da madeira. Na sua forma cristalina, a celulose apresenta-se resistente à degradação e ao ataque químico, devido ao seu alto peso molecular (BIERMANN, 1996; PASTORE, 2008; MORAIS et al., 2005).

Devido à estrutura linear e à presença de hidroxílicos (Figura 1) as moléculas de celulose tendem a formar ligações de hidrogênio intermolecular e intramolecular. A rigidez da cadeia celulósica ocorre devido à ligação intramolecular entre os compostos hidroxílicos de unidades de glucose em uma mesma molécula de celulose (KLOCK et al., 2005).

Figura 1 – Estrutura parcialmente linear da molécula de celulose



Fonte: Rowell (2005, p. 473).

Durante a biodegradação da celulose estão envolvidas as enzimas (celulases) responsáveis pela hidrólise da cadeia de celulose, as quais removem a celobiose presente nas extremidades do polissacarídeo (KUBICEKI et al., 2009).

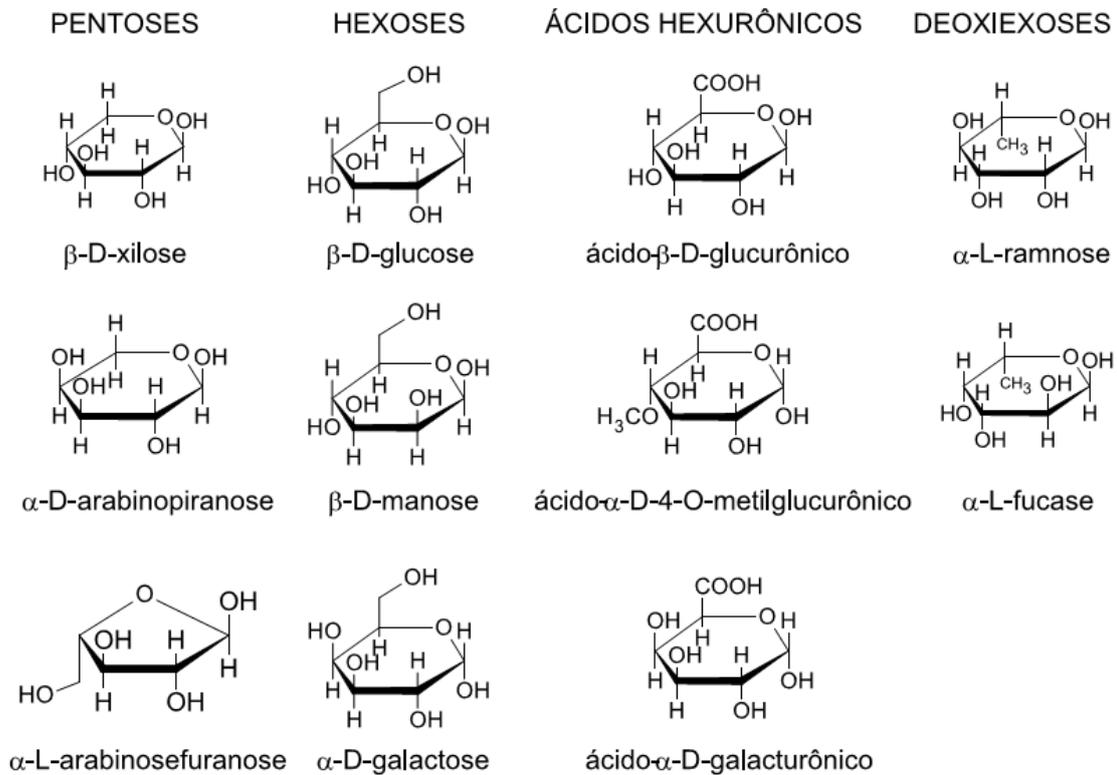
2.2.2 Hemicelulose

As hemiceluloses ou polioses são polissacarídeos da parede celular, em associação com a celulose, constituídos por ácidos e vários açúcares unidos por diferentes ligações formando uma cadeia ramificada e amorfa. Sua composição está entre 20 e 35% da madeira, sua estrutura é muito próxima à da celulose e contribuem para elasticidade e variação dimensional da madeira devido ao fato de serem hidrófilas. Depois da celulose, são os polissacarídeos mais abundantes presentes na natureza (HELLMEISTER, 1973).

As hemiceluloses, isoladas da madeira apresentam-se como misturas complexas de polissacarídeos (MORAIS et al., 2005). Entre os grupos de polissacarídeos mais importantes estão as glucouranoxilanas (polímeros da xilose), arabinoglucouranoxilanas, galactoglucomananas (polímeros constituídos por unidades de glucose e manose), glucomananas (unidades de glucose e manose), e arabinogalactanas (KLOCK et al., 2005).

As hemiceluloses estão intimamente ligadas à celulose nos tecidos das plantas. A Figura 2 ilustra que algumas unidades monoméricas possuem somente cinco átomos de carbono, sendo chamados de pentoses e outros contam com seis deles, chamados de hexoses, produzindo assim as pentosanas (polímeros formados pela condensação de pentoses) e hexosanas, formadas pela condensação das hexoses (MORAIS et al., 2005).

Figura 2 – Açúcares componentes das unidades de hemiceluloses



Fonte: Morais et al., (2005, p. 463).

2.2.3 Lignina

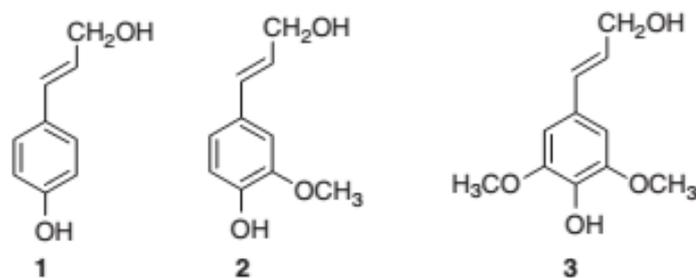
A lignina é um polímero tridimensional natural formado por uma macromolécula com três unidades de fenilpropano derivados dos alcoóis p-cumárico, coniferílico e sinapílico, este polímero é encontrado na parede celular de alguns vegetais. Sua presença nas fibras, traqueídeos e esclerídeos constitui uma matriz polimérica que confere resistência à compressão e rigidez. As unidades de fenilpropano são unidas por ligação éter (C-O-C), as quais são mais fracas e ligação mais forte que ocorre entre carbono-carbono (C-C). Nas plantas em crescimento, a lignina constitui parte integrante da parede celular com ligações químicas para todos os tipos de constituintes de polissacarídeos presentes. A lignina é caracterizada por apresentar uma estrutura irregular, quando comparada com a celulose (GANDINI & BELGACEM, 2008; ALMEIDA, 2006; SJOSTROM et al., 1993).

A lignina é encontrada nos espaços interfibrilares sem formar camadas, no entanto quanto mais espessa é a parede, maior o teor de lignina. Sua concentração não é distribuída uniformemente ao longo da parede celular e, apesar de uma elevada concentração na lamela

média, a porção predominante situa-se na camada de S2 devido ao seu grande volume relativo (GANDINI E BELGACEM, 2008).

As ligninas podem ser classificadas de acordo com seus três elementos estruturais básicos: álcool p-coumaril, álcool coniferil e álcool sinapil Figura 3. A madeira de folhosas possui aproximadamente 50-70% de álcool coniferil e 25-50% de álcool sinapil, já as coníferas contêm apenas o álcool coniferil. Ligninas guaiacil são produzidas por meio da polimerização do álcool coniferil, enquanto que a polimerização do álcool coumaril e sinapil produz as ligninas siringil-guaiacil das folhosas (PASTORE, 2008).

Figura 3 – Álcool p-coumaril 2: Álcool coniferil 3: Álcool sinapil



Fonte: Silva (2006, p. 2).

A quantificação do teor de lignina pode ser classificada em duas categorias: Métodos gravimétricos, os quais incluem lignina insolúvel em solução a 72% de ácido sulfúrico, chamado método Klason. Esse processo utiliza amostra de madeira livre de extrativos, sendo o mais utilizado. Enquanto que o método não gravimétrico se baseia nas propriedades ópticas da lignina, tais como espectroscopia de raios no infravermelho e lignina solúvel em brometo de acetila (FUZETO, 2003).

A lignina é o constituinte polimérico presente na madeira com maior capacidade de absorver radiação ultravioleta, pois apresenta uma banda de absorção máxima em 280 nm que se estende à região do visível, ultrapassando 400 nm (HON, 2001; PASTORE, 2008).

A absorção da luz ultravioleta leva à formação de radicais livres, os quais reagem com o oxigênio e provocam alteração na cor da madeira devido à produção de grupos carbonílicos e carboxílicos cromóforos. A reação inicia com remoção de hidrogênio dos grupos fenólicos da lignina, produzindo principalmente quinonas, que são substâncias orgânicas de tonalidade amarela e desmetiladas (GONZÁLEZ, 1986).

O sistema bioquímico que degrada a lignina é oxidativo. Durante a degradação da lignina por enzimas isoladas ou por fungos ocorrem algumas reações complexas como a quebra oxidativa de anéis aromáticos e rompimento entre as ligações, β -o-4 e C α - C β . As enzimas envolvidas na degradação da lignina se classificam em duas classes distintas: Fenoxidases (pertencem às metaloproteínas) e enzimas produtoras de peróxido de hidrogênio, produzido por fungos (GONZÁLEZ, 1986).

2.2.4 Extrativos

Os extrativos são constituintes secundários da madeira, não fazem parte da estrutura da parede celular e apresentam baixo peso molecular (MORAIS et al., 2005). Geralmente são formados por terpenos, fenóis, taninos, graxas, óleos essenciais e corantes e podem ser extraídos da madeira pela utilização de solventes (SANTOS, 2008; PHILIPP E D' ALMEIDA 1988).

De acordo com Oliveira et al. (2005), a formação dos extrativos ocorre durante o processo de transformação do alburno em cerne, conferindo coloração escura ao cerne devido ao acúmulo de fenóis e polifenóis na parede celular e lumens, funcionalmente esses componentes conferem durabilidade à madeira. Deve-se considerar que a quantidade e qualidade de extrativos é variável entre espécies (OLIVEIRA et al., 2005).

Na madeira, os extrativos contribuem em algumas de suas propriedades como a cor e a durabilidade natural, em função da presença de substâncias, como os compostos fenólicos com caráter tóxico (BIERMMANN, 1996).

Esses compostos orgânicos apresentam alta diversidade de substâncias químicas, entre os principais extrativos que alteram a cor da madeira temos: quinonas, flavonóides, lignanas e taninos. As quinonas apresentam ação antimicrobiana, gerando a formação de complexos com proteínas, os quais atuam como barreira de impedimento contra a penetração de patógenos. Os flavonóides são compostos polifenólicos, os quais incluem as flavononas, antocianidinas, catequina entre outras substâncias. Nas plantas os flavonóides atuam na proteção contra a radiação ultravioleta e ação de microorganismos (LEPAGE, 1986; CAMPOS e SILVEIRA, 2003).

Os compostos fenólicos são utilizados pelas enzimas peroxidases e polifenol oxidase sendo que o produto da oxidação dessas enzimas possui caráter tóxico para microorganismos. A atividade polifenol oxidase na resistência a patógenos é devido à oxidação de compostos

fenólicos para quinonas, os quais apresentam elevada toxicidade, quando comparados com o fenol original (CAMPOS E SILVEIRA, 2003).

As lignanas apresentam um elevado número de compostos com características comuns, incluindo duas unidades de 1-fenil-propano ligadas β - β , porém diferem na substituição das posições 3, 4 e 5 do anel benzênico, na natureza das cadeias laterais ligadas e na natureza das ligações adicionais, que unem as duas unidades. Os taninos são compostos de substâncias fenólicas solúveis em água e solventes orgânicos polares, são oligoméricos e possuem peso molecular entre 500 e 3000. Por gerar produtos escuros que interagem com compostos de ferro, hidróxido de amônio e álcalis deixam a madeira com tonalidade indesejada (LEPAGE, 1986).

O solvente etanol/tolueno remove até 95 % dos extrativos presentes na madeira. A extração realizada com a mistura etanol/tolueno na proporção 1:2 solubiliza ceras, gorduras, resinas e óleos, além de outros componentes (SILVÉRIO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2005).

2.3 BIODETERIORAÇÃO DA MADEIRA

A biodeterioração da madeira é o conjunto de ações indesejáveis provocadas de forma direta ou indireta por agentes biológicos e abióticos. Esse processo é acelerado devido à atuação em conjunto ou separadamente de fatores químicos, físicos e biológicos (IPT, 2001). Dentre os principais organismos xilófagos responsáveis por deteriorar a madeira estão os fungos, brocas-de-madeira e cupins (OLIVEIRA et al., 2005).

O corpo de frutificação dos fungos produz esporos, os quais são facilmente disseminados pelo vento e depositados sobre a superfície da madeira. Havendo condições favoráveis de temperatura, umidade e aeração ocorre a germinação dos esporos, dando origem às hifas, as quais penetram na madeira (JANKOWSKY et al., 1990).

A deterioração causada por fungos ocorre devido à liberação de enzimas que reagem com os constituintes da parede celular em nível molecular, causando o rompimento da estrutura (PAES et al., 2002). Esses organismos são os principais e mais importantes agentes xilófagos existentes no mundo (MENDES & ALVES, 1988). A resistência da madeira está relacionada com a capacidade que ela possui de resistir à ação de agentes degradadores (OLIVEIRA et al., 2005).

O teor de umidade elevado, temperatura, pH básico da madeira, juntamente com o teor de oxigênio, disponível são condições ideais para o desenvolvimento dos fungos. A

temperatura ideal para o crescimento dos fungos encontra-se entre 25 e 30°C, o ataque fúngico ocorre quando a madeira apresenta teor de umidade acima de 20% e o pH ótimo situa-se entre 4,5 e 5,5 (MENDES & ALVES, 1988).

Os fungos xilófagos responsáveis pela degradação da madeira são divididos em três categorias: podridão parda, branca e mole. Os que provocam podridão parda degradam a celulose e hemicelulose, deixando a lignina, de cor escura praticamente intacta, conferindo à madeira um aspecto pardo-escuro. Já os fungos de podridão branca degradam lentamente e totalmente a parede celular a partir do lume, decompondo lignina, celulose e hemicelulose, a madeira adquire cor esbranquiçada, progressiva perda de peso e redução na resistência mecânica (MENDES & ALVES, 1988).

Conforme Kirk & Farrel (1987), os fungos de podridão parda penetram nos lumens da madeira, onde as células segregam enzimas que decompõem e removem os polissacarídeos, deixando um resíduo de lignina modificada de coloração parda. A lignina sofre hidroxilação aromática e clivagem do anel aromático durante sua mineralização, mas o principal efeito é desmetilação de grupos metoxilo aromáticos (KIRK & FARREL, 1987).

A degradação biológica também é provocada por insetos xilófagos, os quais escavam a madeira a procura de alimentos ou abrigo (MENDES & ALVES, 1986). A madeira está susceptível ao ataque de insetos devido à sua composição de origem orgânica utilizada como alimento ou substrato para moradia, sendo as principais ordens Isoptera (cupins), Coleoptera (coleobrocas) e Hymenoptera (formigas e vespas). As brocas apresentam hábitos alimentares relacionados com o teor de umidade da madeira, geralmente o ataque ocorre quando o teor de umidade da madeira encontra-se abaixo de 30%, em fase de secagem, logo após o abate, ainda com alto teor de umidade (MENDES & ALVES, 1986).

Os cupins podem ser classificados em dois grupos. Os subterrâneos, vivem no solo, construindo galerias que os protegem e permitem alcançar a madeira, da qual se alimentam. As galerias são construídas de solo e restos de madeiras parcialmente digeridas. Em função da sua forma de vida, atacam principalmente madeiras com teor de umidade elevado. Os cupins não subterrâneos atacam madeira com baixo teor de umidade (JANKOWSKY, 1990).

As brocas apresentam hábitos alimentares relacionados com o teor de umidade da madeira, atacando-a nas seguintes condições: madeira com teor de umidade abaixo de 30%, em fase de secagem e em árvores recém abatidas com alto teor de umidade e liberando substâncias químicas atrativas (OLIVEIRA et al., 1986).

2.4 ENSAIOS PARA AVALIAR A DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA

O ensaio de campo é uma condição onde a madeira encontra-se exposta a intempéries do ambiente, ao solo e uma ampla diversidade de microorganismos xilófagos. Madeiras submetidas a ensaios de campo estão expostas a periódicas irregularidades de lixiviação, radiação ultravioleta e secagem (COSTA, 1999).

Conforme Trevisan (2007), a ação dos organismos xilófagos na decomposição da madeira é influenciada pelas condições do ambiente. Para Melo et al. (2010), a madeira quando é utilizada em contato direto com o solo e em locais úmidos está suscetível ao ataque de fungos e térmitas. De acordo com Jesus (2002), os ensaios de campo e laboratório fornecem informações sobre as diferentes classes de resistência da madeira e os cuidados que devem ser tomados quanto à utilização da madeira em ambientes distintos.

O ensaio acelerado de laboratório é uma das formas de avaliar a resistência natural da madeira quanto à presença de organismos xilófagos, dando uma maior importância para os fungos, pois estes organismos são os maiores responsáveis pela redução da vida útil da madeira, (MENDES & ALVES, 1988).

Conforme mencionado por Stangerlin (2012), os ensaios de laboratório têm sido muito utilizados com finalidade de qualificação da durabilidade natural, fornecendo um rápido resultado tanto na área de tecnologia da madeira quanto econômica, além de contribuir para o conhecimento do comportamento da madeira exposta à presença de fungos apodrecedores. O referido autor cita duas metodologias normatizadas, as quais são empregadas para o ensaio de laboratório: ASTM D 2017 (norma americana) e a EN 113 (norma européia).

Mendes e Alves (1988), consideram que os ensaios de laboratório não devem ser definitivos, pois são realizados em condições ótimas de laboratório, sem a presença de agentes químicos ou físicos do ambiente externo, que ocorrem em condições reais.

2.5 FOTODEGRADAÇÃO DA MADEIRA

Conforme Pastore (2004), A fotodegradação da madeira é um fenômeno que ocorre superficialmente, em função da elevada quantidade de grupos cromóforos arranjados na camada externa que dificultam a entrada de luz. A radiação ultravioleta consegue penetrar até uma profundidade de 75 mm e a visível atinge cerca de 200 mm, ocorrendo formação de radicais livres devido a reações de decomposição química dos constituintes da madeira (HON, 2001). Apesar de a radiação visível penetrar mais profundamente, sua energia é inferior a 70

Kcal/mol, sendo insuficiente para romper as ligações químicas em qualquer um dos constituintes da madeira (PASTORE, 2004).

A lignina é o constituinte polimérico da madeira com maior capacidade de absorção de radiação ultravioleta e visível, pois apresenta uma banda de absorção máxima em 280 nm, e se estende até a região visível, superior a 400 nm (COSTA, 2010). As reações fotoquímicas que ocorrem na lignina são as principais causas de degradação, devido à incidência de luz na madeira (PATORE et al., 2008; MARTINS, et al., 2010).

A cor da madeira não é estável, ela tende a sofrer alterações com o tempo, tornando-se mais escura devido à oxidação causada pela luz que reage com os componentes químicos como a lignina (MORI et al., 2004).

A fotodescoloração é uma das alterações que pode ocorrer na madeira em função da ação dos raios ultravioletas, reduzindo sua vida útil e modificando sua cor. Durante este processo a madeira inicialmente escurece, adquirindo uma tonalidade marrom ou amarela, predominando, após um período, a coloração cinza prateada (PASTORE, 2004).

A fotodegradação ocorre apenas superficialmente, pois após as primeiras reações surge uma pequena camada que protege os constituintes celulósicos e as camadas inferiores. Porém a ação do intemperismo mesmo que superficial, provoca problemas na utilização da madeira, pois além de prejudicar a aparência estética afeta o desempenho dos produtos preservativos aplicados sobre ela. Outros efeitos das intempéries levam à degradação física da madeira, tornando-a áspera e com presença de fissuras e rachaduras (MARTINS et al., 2010).

O processo de deterioração provocado pela radiação ultravioleta, presente na luz solar é extremamente prejudicial à madeira, uma vez que inicia as alterações químicas dos principais polímeros de seus constituintes. A precipitação causa lixiviação de extrativos, deixando exposta uma nova superfície à ação do intemperismo (FEIST & HON, 1984).

2.6 COLORIMETRIA APLICADA À MADEIRA

A colorimetria é uma análise que descreve numericamente os parâmetros da cor, através de equipamentos apropriados que utilizam um conjunto de filtros e fotodetectores para quantificar a cor de um material exposto à luz. Essa análise tem por finalidade medir as cores do material, sendo considerado um método eficiente inclusive para o controle de qualidade industrial (GONÇALEZ et al., 2003; ATAYDE et al., 2011; STANGERLIN, 2012; RAPPOLD et al., 2004),

Com auxílio da colorimetria quantitativa é possível caracterizar e classificar a madeira, pois esse método utiliza o sistema CIELAB 1976 (Comissão Internacional de L' Eclairage ou Comissão Internacional de Iluminantes), sendo este o mais utilizado para medir a cor (MORI et al., 2004). O sistema é caracterizado por três coordenadas (L^* , a^* e b^*) em variação de cor tridimensional, onde L^* representa a luminosidade, com valores que variam de zero (preto) à 100 (branco) e as coordenadas cromáticas, a^* e b^* com variação entre -60 e +60 (KONICA MINOLTA, 1998).

Autran e Gonzalez (2006) afirmam que é possível caracterizar quantitativamente e qualitativamente a cor da madeira por meio dos parâmetros colorimétricos (L^* , a^* , b^* , C e h^*), em que a^* é a coordenada do eixo vermelho-verde, b^* é a coordenada do eixo azul-amarelo, C representa saturação e h^* ângulo de tinta. De acordo com Camargos e Gonzalez (2001), o ângulo de tinta é derivado dos valores a^* e b^* e pode variar entre 0 e 60. Enquanto que a saturação ou cromaticidade (C) é o desvio a partir do ponto que corresponde ao cinza no eixo L^* (luminosidade).

Conforme citado por Mori et al. (2005), o sistema CIELAB utiliza, para realizar suas leituras, a fonte de luz e iluminação padrão para evitar oscilações de iluminação do dia, e com a mesma sensibilidade correspondente a do olho humano, o colorímetro percebe e registra as diferenças de cores. De acordo com os autores, o padrão de cores de uma madeira pode variar em tonalidades que vão desde o bege claro até o marrom escuro, quase preto, sendo que dentro desta variação existem madeiras de tonalidade amarela, vermelha, laranja, roxa, dependendo da composição química.

De acordo com Lopes (2012), a cor da madeira é considerada um dos atributos mais importantes, tanto quanto as propriedades físicas e mecânicas. Conforme a autora, a cor pode ser influenciada por fatores intrínsecos da madeira como anatomia, composição química, agentes físicos, assim como fatores externos como condições climáticas e tratamentos culturais.

Conforme Amorin et al. (2013), as técnicas não destrutivas utilizadas na caracterização e avaliação da durabilidade da madeira apresentam vantagens em relação às tecnologias tradicionais, sendo possível analisar com agilidade e precisão um grande volume de material. Para Martins et al. (2010), as alterações na cor da madeira podem ser detectadas de forma rápida e precisa através do sistema CIELAB.

Morais & Costa (2007), afirmam que após avaliar a alteração da cor aparente de madeiras submetidas à presença de fungos apodrecedores, que os valores de claridade reduziram após o ataque, o que provocou escurecimento da madeira. Este parâmetro é influenciado pelas coordenadas a^* e b^* , as quais caracterizam a cor da madeira.

Os organismos xilófagos, especialmente os fungos apodrecedores, provocam alteração na cor natural da madeira (MORAIS E COSTA, 2007). Com a utilização do colorímetro para mensurar a variação da cor (ΔE), é possível visualizar cinco níveis diferentes de coloração, conforme a Tabela 1 (CUI et al., 2004).

Tabela 1 – Classificação da variação total da cor de madeiras

Varição da cor	Classificação colorimétrica
0-0,5	Percepção inexistente
0,5-1,5	Levemente perceptível
1,5-3,0	Pouco notável
3,0-6,0	Notável
6,0-12,0	Muito notável

Fonte: Cui et al., (2004).

2.7 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

É fundamental conhecer as propriedades físicas e mecânicas da madeira para definir de forma adequada as aplicações a que serão destinadas e dimensionar com segurança as partes constituintes de uma estrutura (ARAÚJO, 2007).

O teste de flexão estática demonstra o comportamento da madeira durante a aplicação de força na face tangencial ou radial, dependendo do interesse. A flexão estática é classificada como uma característica de resistência principal da madeira, pois os esforços ocorrem no sentido axial, ou seja, no sentido das fibras (DEMORI, 2009).

Durante o ensaio de flexão estática, as tensões são observadas da seguinte forma: a zona neutra começa a ser deslocada para o lado da tração. As tensões de tração e compressão são iguais. A tensão do lado da compressão para de crescer devido às deformações plásticas que começam a ocorrer neste lado, enquanto isto o lado da tração continua resistindo sem que ocorra deformação plástica até aproximadamente o dobro da resistência alcançada pela compressão. O esforço à tração progride até atingir a resistência máxima da madeira, ocorrendo ruptura, com o rompimento no lado oposto ao da aplicação da carga normalmente com uma rachadura longa acompanhando a linha neutra. O lado onde a carga é aplicada apresenta, por sua vez, apenas um amassamento (MORESCHI, 2010).

Conforme Ramos (2009), o teste de flexão estática é considerado muito importante, pois ele determina o módulo de elasticidade da madeira fornecendo informações úteis ao cálculo de estruturas. Segundo o autor, o módulo de elasticidade mede a rigidez da madeira,

esta é uma característica mecânica importante quando se refere à estrutura. De acordo com Moreschi (2005), quanto maior o módulo de elasticidade, maior será a resistência do material e mais baixa será sua deformabilidade, o MOE auxilia na classificação da madeira quanto a sua utilização na construção civil.

Segundo Moreschi (2010), para determinar a resistência à flexão estática da madeira é realizada a aplicação de uma carga sobre sua superfície, exatamente na metade de seu comprimento, que se encontra em repouso sobre dois apoios, para provocar tensões e deformações mensuráveis até que ocorra ruptura. De acordo com o mesmo autor, uma madeira apresenta características elásticas abaixo do limite proporcional de elasticidade, acima deste limite ocorrem deformações plásticas seguidas de ruptura.

Quando a madeira é submetida à aplicação de carga, o esforço que ela pode suportar é afetado pela direção da carga em relação à direção das fibras ou traqueóides, duração da carga, temperatura, massa específica e teor de umidade da madeira (MORESCHI, 2010).

Entre os ensaios mecânicos, o teste de dureza é um dos mais difundidos e importantes pelo fato de que a propriedade de dureza é muito sensível às mudanças das características químicas e da estrutura de um material, por ser um ensaio rápido e o equipamento de fácil manuseio (STANGERLIN, 2012).

Moreschi (2010), define a dureza da madeira como a resistência requerida para um corpo sólido penetrar em outro por meio de esforço, ou como a resistência que o material testado oferece à penetração de algum dispositivo como agulha ou esfera, sendo uma propriedade indicadora de trabalhabilidade da madeira e importante para entalhes, tacos, parquetes, roletes, para aparelhos de esporte.

Entre as propriedades da madeira, a dureza apresenta grande importância na caracterização de espécies florestais. A dureza Janka avalia a resistência do material à penetração superficial de uma esfera de aço com área diametral de 1 cm², quando a penetração é induzida até a metade de seu diâmetro (COLENCI, 2006).

3 MATERIAL E METODOS

3.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

A madeira foi coletada em um fragmento florestal pertencente à Floresta Estacional Decidual, localizada no município de Jaguari, RS. Foram retiradas árvores das espécies Guajuvira, Angico-vermelho e Cinamomo com idades entre 32 à 45 anos (Tabela 2) determinadas pela contagem dos anéis de crescimento, a partir de discos retirados da base do tronco antes do desdobro das pranchas.

O clima no local de procedência das árvores, segundo a classificação Köppen é do tipo Cfa (subtropical úmido), com ocorrência de chuvas bem distribuídas durante todo ano, com temperatura do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio, entre -3 e 18°C. O solo do local onde foram retiradas as árvores é classificado como Neossolo Litólico distrófico típico.

Tabela 2 – Características das árvores selecionadas para realização da pesquisa

Espécie Florestal	DAP (cm)	IDADE
Guajuvira	69,50	45
	65,30	41
	59,23	39
Cinamomo	53,60	44
	47,13	40
	43,12	37
Angico-vermelho	72,00	42
	68,21	39
	62,56	32

A amostragem do material foi realizada ao acaso conforme a norma da *American Society for Testing and Materials* – D5536 (ASTM, 2010). Para cada espécie foram amostradas três árvores adultas e, de cada uma, com auxílio de uma motosserra foram retiradas as duas primeiras toras com 2,0 metros de comprimento.

3.2 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

As toras foram transportadas até o Laboratório de Produtos Florestais (LPF 2) da Universidade Federal de Santa Maria, e com auxílio de uma serra de fita vertical foi realizado o desdobro tangencial, retirando-se tábuas de uma polegada e o pranchão central, incluindo a medula, com 7,0 cm de espessura e 20,0 cm de largura.

Os corpos de prova foram confeccionados a partir do pranchão central, excluindo a medula, com auxílio de uma plainadeira, serra circular e destopadeira. Realizada esta etapa, foram armazenados em câmara climatizada à temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%, onde permaneceram até atingir massa constante, considerando um teor de umidade de 12 %.

Após a obtenção do peso inicial, os corpos de prova foram levados para o campo nas respectivas regiões de estudo, exceto as peças consideradas testemunhas, as quais permaneceram na câmara climatizada até a realização das análises.

3.3 ENSAIO DE CAMPO

3.3.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com fatorial 3 x 3 x 6 (Fator E: espécie; Fator L: local; Fator A: avaliação (meses)), totalizando 54 tratamentos com cinco repetições para cada espécie.

Os níveis dos fatores foram dispostos da seguinte forma:

Fator E:

EA: Angico-vermelho

EC: Cinamomo

EG: Guajuvira

Fator L:

LSM: Santa Maria

LSG: São Gabriel

LP: Pelotas

Fator A:

Avaliação 0: amostras controle (TESTEMUNHAS)

Avaliação 1: 2 meses sob condições de deterioração

Avaliação 2: 4 meses sob condições de deterioração

Avaliação 3: 6 meses sob condições de deterioração

Avaliação 4: 8 meses sob condições de deterioração

Avaliação 5: 10 meses sob condições de deterioração

Avaliação 6: 12 meses sob condições de deterioração

3.3.2 Caracterização das Regiões Experimentais

A instalação dos ensaios de campo foi realizada em três regiões distintas no Estado do Rio Grande do Sul: Santa Maria, São Gabriel e Pelotas. Santa Maria localiza-se no Centro-Oeste do Rio Grande do Sul entre a Serra Geral e a Planície que forma a chamada Depressão Central. Esta região é caracterizada por apresentar um clima subtropical úmido, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 18,8 °C, sendo nos meses de junho até agosto registradas as temperaturas mais baixas e ocorrência de geadas, e temperaturas elevadas nos meses de dezembro a fevereiro, com precipitação média anual de 1617 mm. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos–SiBCS da EMBRAPA (2006), o solo desta região é classificado como Argissolo Bruno–Acinzentado Alítico típico.

São Gabriel está localizado na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul e se caracteriza de acordo com a classificação de Köppen por apresentar clima subtropical úmido e estações bem definidas, com verão quente e úmido, inverno registrando baixas temperaturas e ocorrência frequente de geadas. O solo da região é classificado, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos–SiBCS como Planossolo Háptico Eutrófico típico textura argilosa relevo suave ondulado.

Pelotas está localizada na Encosta do Sudeste, as margens do Canal São Gonçalo com altitude média de 7 m acima do nível do mar. Caracteriza-se por apresentar clima subtropical úmido conforme Köppen. De acordo com o Centro de Pesquisas e Previsões Meteorológicas da UFPEL, a média de precipitação anual é de 1.185 a 1.364 mm, com ocorrência regular de chuvas distribuídas durante todo o ano. A umidade relativa do ar é bastante elevada, no verão a temperatura média encontra-se em 22°C e no inverno em 12°C. O solo na região experimental é classificado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos–SiBCS Argissolo Amarelo Distrófico Câmbico.

3.3.3 Instalação do Ensaio de Campo

Em cada local foi realizado um levantamento das variáveis que influenciam na deterioração da madeira, sendo realizada coleta de solo para análise, a fim de conhecer as características do solo, considerando a distinção entre regiões.

A instalação do ensaio de campo em cada local foi realizada em campo aberto, plano e livre de inundações. Primeiramente foi realizada uma roçada nas três áreas experimentais, mantendo a vegetação ao longo do período experimental. Após foi demarcada uma parcela retangular composta por oito blocos. Cada bloco contendo três linhas dispostas horizontalmente, mantendo-se uma distância de 20 cm entre os corpos de prova e 20 cm entre as linhas (Figura 4). Em cada bloco foram distribuídas ao acaso 30 amostras, sendo 10 de cada espécie. Os corpos de prova possuíam dimensões de 1,5 x 1,5 x 26 cm. Estes foram enterrados até a metade do seu comprimento.

A cada dois meses, dez amostras por tratamento foram retiradas em cada área experimental, as quais passaram por uma limpeza em água corrente e com o auxílio de um pincel foi feita a remoção do solo, logo foram acondicionadas em câmara climatizada no Laboratório de Propriedade Físicas e Mecânicas da Madeira pertencente ao Curso de Engenharia Industrial Madeireira da Universidade Federal de Pelotas até alcançar equilíbrio higroscópico e posteriormente realizar as avaliações. Foram realizadas seis coletas: aos 2, 4, 6, 8, 10 e 12 meses de permanência no campo.

O material avaliado foi submetido aos testes de análise química, umidade de equilíbrio (TU), massa específica aparente, perda de massa, flexão estática, dureza Janka, avaliação do índice de deterioração, colorimetria e ao ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório.

Figura 4 – Instalação do ensaio de campo



Fonte: Autora (2015).

3.4 ANÁLISE QUÍMICA

As análises químicas quantitativas da madeira submetida ao ensaio de campo e das amostras controle foram realizadas de acordo com as normas da *Technical Association of the*

Pulp and Paper Industry (TAPPI), sendo apresentadas abaixo, com suas respectivas normas na Tabela 3.

Tabela 3 – Metodologia e normativas utilizadas para caracterização química das madeiras de Guajuvira, Angico-vermelho e Cinamomo

Análises	Metodologia
Extrativos Totais	T204 cm (TAPPI,1997).
Lignina Klason	T 222 om (TAPPI, 1998)
Materiais Inorgânicos ou Cinzas	T 211 om (TAPPI, 1993)

Para cada espécie estudada, após os ensaios mecânicos, foram amostrados 10 corpos de prova ao acaso. Das extremidades foram confeccionados palitos, que posteriormente passaram pelo moinho de facas, transformados em serragem que foi classificada em peneira vibratória, sendo utilizado o material retido na peneira de 60 *mesh*. Para a determinação dos extrativos totais utilizou-se álcool etílico, etanol: tolueno (1: 2, v v ⁻¹).

3.5 UMIDADE DE EQUILÍBRIO

O TUEq foi determinado (Equação 1) conforme a norma *American Society for Testing and Materials* – ASTM D143-94 (ASTM, 2000). Logo após a realização dos ensaios de flexão estática, foi retirada uma amostra de dois cm da extremidade do corpo de prova. A amostra foi pesada em balança digital com precisão de 0,01 gramas e levada à estufa com temperatura de 103°C até obter massa constante.

$$UE = \frac{M1 - M2}{M2} * 100 \quad (1)$$

Em que: UE= Umidade de equilíbrio %; M1= Massa da amostra logo após o teste de flexão estática, g; M2= Massa constante seca em estufa, g.

3.6 MASSA ESPECÍFICA APARENTE

O valor da massa específica aparente foi obtido a partir dos mesmos corpos de prova utilizados no ensaio de campo, com dimensões 1,5 x 1,5 x 26 cm. Esta determinação foi realizada com base no volume e massa dos corpos de prova (Equação 2) após a estabilização

em câmara climatizada a 20°C de temperatura e 65 % de umidade relativa, com umidade relativa de 12 %.

$$Me = \frac{m}{vol} \quad (2)$$

Em que: ME= massa específica aparente das amostras g/cm³; m= massa, g; v= volume, cm³.

3.7 PERDA DE MASSA

Após cada coleta, as amostras foram lavadas em água corrente e com auxílio de um pincel removeu-se o excesso de solo de forma a não interferir no valor da massa final. Com base nos valores de massa inicial e final foi determinada a perda de massa para cada amostra, conforme a Equação 3.

$$PM = \frac{Mi - Mf}{Mi} * 100 \quad (3)$$

Em que: PM= Perda de massa (g); Mi= Massa inicial (g); Mf= Massa final (g).

3.8 TESTES DE FLEXÃO ESTÁTICA

As amostras submetidas ao campo de apodrecimento e controle foram submetidas ao ensaio de flexão estática a partir de adaptação da norma *American Society for Testing and Materials* - ASTM D143-94 (ASTM, 2000). O dimensionamento dos corpos de prova foi adaptado para 1,5 x 1,5 x 26 cm considerando a pouca disponibilidade de cerne de Guajuvira. Fixou-se o vão em 14 vezes a altura e a velocidade de ensaio em 1,3 mm/min.

Para este ensaio foi utilizada uma máquina universal de ensaios EMIC com capacidade de 3000 N e uma célula de carga de 3000 N. Assim foi possível obter o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), ou seja, respectivamente a rigidez e resistência das madeiras avaliadas.

3.9 DUREZA JANKA

Este ensaio foi realizado com auxílio de uma máquina universal de ensaios EMIC. O ensaio ocorreu conforme adaptação da norma ASTM D-143 (ASTM, 2000). Foram realizadas duas penetrações em cada amostra na seção tangencial, sendo duas na área exposta e duas na área enterrada. Utilizou-se para este ensaio uma célula de carga de 3000 Kgf e uma esfera com 10,90 mm de diâmetro. Foi avaliada a carga máxima necessária para penetrar a metade de seu diâmetro nas amostras. A carga foi aplicada a uma velocidade de movimento da cruzeta de 6 mm/ min.

3.10 ÍNDICE DE DETERIORAÇÃO

A avaliação do estado de deterioração da madeira durante sua permanência no campo foi realizada de acordo com Lepage (1970), utilizando como critério subjetivo a atribuição de notas conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação do estado de sanidade da madeira

Sanidade	Nota	Índice de deterioração
Sadio, sem ataque	0	100
Ataque leve ou superficial de fungos e térmitas	1	90
Ataque evidente, mas moderado de fungos e térmitas	2	70
Apodrecimento intenso ou ataque intenso de térmitas	3	40
Quebra, perda quase total de resistência	4	0

Fonte: Lepage (1970).

3.11 COLORIMETRIA

Para avaliar a variação nos parâmetros colorimétricos da madeira provocada por organismos xilófagos sob diferentes locais e condições climáticas foram realizadas análises de colorimetria a cada coleta, incluindo as amostras controle. As leituras foram realizadas em dois planos: radial e tangencial; na área exposta, na linha de afloramento e na área em contato com o solo.

Os ensaios de colorimetria foram realizados utilizando um colorímetro portátil Konica Minolta, modelo CR-400, com abertura do sensor de 8 mm acoplado a um computador. A variação da cor foi avaliada conforme a Equação 4.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (4)$$

Em que: ΔE = variação de cor; ΔL = variação dos parâmetros de claridade; Δa = variação da coordenada cromática vermelho – verde; Δb = variação da coordenada cromática amarelo – azul.

3.12 ENSAIO DE LABORATÓRIO

O ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório foi realizado segundo a norma ASTM D 2017 (1994), pois este método de avaliação determina a capacidade de resistência de espécies de madeira ao ataque microbiológico intenso, desta forma qualificando o seu nível de desempenho. O ensaio foi conduzido no Laboratório de Controle Biológico e Proteção de Plantas da Universidade Federal do Pampa.

3.12.1 Preparo das amostras e obtenção dos fungos apodrecedores

As amostras utilizadas para o ensaio foram confeccionadas nas dimensões de 9 x 25 x 25 mm, de acordo com a norma ASTM D 2017 (1994). Após a confecção, foram levadas à estufa a 63° C, até atingir massa constante. Posteriormente, com auxílio de uma balança analítica de precisão de 0,0001 g, obteve-se a massa inicial (Mi).

Para cada tratamento foram ensaiadas 68 amostras, sendo seis para podridão branca, seis para podridão parda e seis blocos de correção (sem fungo).

Os fungos utilizados neste estudo (*Pycnoporus sanguineus* e *Gloeophyllum trabeum*) foram fornecidos pelo Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro, localizado em Brasília, no DF.

Os isolados recebidos foram repicados para meio de cultura extrato de malte-ágar (MEA) na proporção de 20 g de ágar, 20 g de extrato de malte para cada 1000 mL de água destilada. Após o preparo, o meio de cultura foi submetido à autoclavagem de 30 minutos a 121°C e pressão de 1 atm, sendo posteriormente transferido para placas de Petri em capela de

fluxo laminar. Estas placas foram mantidas em câmara de incubação à temperatura de 25°C até a completa colonização das placas pelos fungos.

3.12.2 Preparo dos recipientes para o ensaio de apodrecimento acelerado

Para a montagem do ensaio foram utilizados frascos de vidro com capacidade de 450 mL preenchidos com 100 g de solo com pH 6,4, considerado levemente ácido e capacidade de retenção de água de 39% definidos por análise física do solo. O solo foi peneirado em uma peneira com 4,50 mm de abertura. Em seguida foi calculado o teor de umidade do solo, apenas do lote utilizado na montagem dos frascos. O teor de umidade do solo foi obtido pelo método gravimétrico, utilizando-se para isto de quatro amostras do lote de solo coletado, que foi adicionado nos frascos de vidro. Realizou-se a pesagem do solo úmido, antes de colocá-lo em estufa a 103°C para secagem. Durante a secagem foram realizadas pesagens deste solo até atingir um peso constante. O teor de umidade foi utilizado para o cálculo (Equação 5) da quantidade de água a ser adicionada em cada frasco a fim de atingir 130% de sua capacidade de retenção de água (ASTM 2017, 1994).

$$Q_a = [1,30 * (A - B) * \left[\frac{D}{100 + B} \right]] \quad (5)$$

Em que: Q_a = Quantidade de água a ser adicionada, em g; A = Capacidade de retenção de água do solo, %; B = Conteúdo de umidade do solo seco ao ar, %; D = Quantidade de solo seco a ser adicionado em cada frasco, em g;

Após o preparo dos frascos preenchidos com solo e água, cada frasco recebeu uma placa de alburno de *Pinus elliottii*, de dimensão 3,0 x 29,0 x 35,0 mm, que serviu de substrato para o estabelecimento da colônia de fungos. Posteriormente à introdução da placa suporte, os frascos foram submetidos a duas autoclavagens de 40 minutos em intervalos de 24 h à temperatura de 120°C e pressão de 1 atm. Após a esterilização, os frascos permaneceram em temperatura ambiente até o recebimento do meio de cultura contendo o micélio dos fungos.

Durante o período de acondicionamento dos frascos de vidro que atuaram como câmara de apodrecimento, foi realizada a repicagem dos fungos.

3.12.3 Inoculação dos fungos

Aproximadamente 20 dias após a repicagem dos fungos (*Pycnoporus sanguineus* e *Gloeophyllum trabeum*) nas placas contendo meio MEA, um disco de 10 mm contendo meio de cultura e micélio do fungo foi extraído diretamente da placa de Petri e depositado sobre cada uma das placas de *Pinus elliottii* (placa suporte) em cada frasco, em capela de fluxo laminar. Estes frascos de vidro retornaram para a sala de incubação, onde permaneceram durante um período de, aproximadamente 30 dias, até que a placa de *Pinus elliottii* fosse completamente coberta pelo micélio dos fungos.

Antes de entrar em contato direto com os fungos as amostras de Angico vermelho, Guajuvira e Cinamomo foram esterilizadas em autoclave a 120 °C e pressão 1 atm durante 1 hora, e postas em contato com os fungos, onde permaneceram por 16 semanas.

Após este período os corpos de prova foram retirados dos frascos para a remoção dos fungos e levados à estufa novamente até atingir peso constante para obter a massa final e assim avaliar a sua resistência natural em função da perda de massa provocada pelos fungos.

A porcentagem da perda de massa foi determinada pela diferença entre a massa inicial que antecede o ataque fúngico e a massa final após o contato direto com os fungos apodrecedores, utilizando uma balança de precisão de 0,0001 g conforme a equação (EQUAÇÃO 6).

$$PM_{cp} (\%) = \frac{M_i - M_f}{M_i} * 100 \quad (6)$$

Em que: Pm=perda de massa %; Mi=massa inicial (g) seca a 63°C antes do contato com os fungos; Mf=massa final seca (g) 63°C após contato com os fungos;

Após a determinação da perda de massa individual de cada amostra (PM_{cp}), foi determinada a perda de massa média do tratamento (PM_t). A partir da diferença deste com a perda de massa dos blocos de correção (PM_{bc}), obteve-se a perda de massa final (PM) de cada tratamento, de acordo com a Equação 7.

$$PM = MT - PMbc \quad (7)$$

Em que: PM = perda de massa final do tratamento (%); PMt = média de perda de massa total do tratamento, %; PMbc = média de perda de massa dos blocos de correção do tratamento (%).

Com base nos resultados, a classificação da resistência natural (Tabela 5) foi determinada mediante intervalos de média de perda de massa de acordo com a ASTM D 2017 (ASTM, 1994).

Tabela 5 – Classificação da Resistência Natural das madeiras estudadas de acordo com a norma ASTM D 2017 (ASTM, 1994).

Resistência	Perda de massa (%)	Massa residual (%)
Altamente resistente	0-10	90-100
Resistente	11-24	76-89
Moderadamente resistente	25-44	56-75
Não Resistente	Acima de 45	Abaixo de 55

3.13 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise e processamento dos dados foi utilizado o programa estatístico Assistat 7.7 beta. Os dados foram avaliados por análise de variância (ANOVA), posteriormente realizada a comparação múltipla de médias pelo teste de Tukey com 5 % e 1% de probabilidade de erro. Para análise dos resultados do ensaio de apodrecimento acelerado foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial onde foram avaliados os seguintes fatores: espécies com três níveis; fungos com dois níveis e a interação entre os fatores, empregando o teste de Tukey com 5 % de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

O laudo da análise de solo para as três áreas experimentais em estudo, foi fornecido pelo Departamento de Solos da UFSM. De acordo com a análise realizada a porcentagem de matéria orgânica, pH e argila presentes no solo das áreas experimentais de Santa Maria, São Gabriel e Pelotas encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Variáveis fornecidas pela análise de solo

	Santa Maria	São Gabriel	Pelotas
Matéria orgânica (%)	1,70	3,40	2,0
Argila (%)	16	34	24
pH água 1:1	4,2	5,2	4,6

Conforme Morselli (2009), a fauna edáfica é mais abundante em solos com pH entre 5,8 a 8,3. O autor afirma que a matéria orgânica do solo atua no processo de troca de cátions e tem efeito na disponibilidade de nutrientes para plantas, além de ser responsável pela retenção de água no solo e ter efeito na infiltração de água, agregação de partículas e aeração, servindo como fonte de energia e nutrientes para micro-organismos.

De acordo com Oliveira et al. (1986), a umidade, temperatura e precipitação são fatores importantes na determinação dos micro-organismos que atuam na degradação da madeira. Temperaturas entre 5 e 65 °C permitem o desenvolvimento de micro-organismos, porém são poucos que se desenvolvem com temperaturas acima de 35 ou 40°C. Os autores afirmam que diferentes espécies de organismos apresentam tolerâncias diferentes e pontos ótimos de temperatura, este fator pode influenciar a composição de espécies de micro-organismos que colonizam o material nos diferentes estágios da degradação.

As médias das condições climáticas das três áreas experimentais de realização do ensaio de campo de apodrecimento podem ser observadas na Tabelas 7 de acordo com os dados da Estação Meteorológica da UFSM e da Embrapa clima temperado.

Tabela 7 – Média das variáveis climáticas durante o período de realização do ensaio de campo nas regiões de Santa Maria, Pelotas e São Gabriel, de acordo com Inmet, 2015

Santa Maria			
Mês	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	UR (%)
Jul	280,0	15,0	85,0
Ago	104,0	15,9	81,0
Set	170,0	18,0	83,0
Out	191,0	22,6	78,0
Nov	84,8	23,0	76,0
Dez	324,2	23,2	79,0
Jan	190,2	24,2	83,0
Fev	90,8	23,7	84,0
Mar	142,4	22,5	83,0
Abr	131,2	19,3	84,0
Mai	123,0	16,8	88,0
Jun	146,8	15,1	86,0
Pelotas			
Jul	204,2	14,3	88,1
Ago	82,0	14,5	82,3
Set	179,8	16,5	86,8
Out	213,8	19,4	85,1
Nov	91,9	21,4	78,2
Dez	148,7	22,5	80,9
Jan	168,2	23,9	81,6
Fev	107,4	23,3	84,9
Mar	59,7	22,3	82,9
Abr	33,5	19,8	79,1
Mai	294,1	16,9	85,0
Jun	209,0	14,3	83,7
São Gabriel			
Jul	114,6	14,1	81,0
Ago	85,4	14,9	75,0
Set	196,2	16,0	77,0
Out	175,4	18,2	75,0
Nov	116,8	21,6	65,0
Dez	170,4	24,4	70,0
Jan	222,6	25,1	76,0
Fev	93,4	24,7	75,0
Mar	108,8	23,5	73,0
Abr	67,4	20,5	72,0
Mai	129,0	17,2	80,0
Jun	175,6	14,8	82,0

A área experimental de Santa Maria apresentou nível pluviométrico durante o período de realização do ensaio de campo superior nos meses de julho, setembro, outubro e dezembro do ano de 2014, período correspondente a primeira, segunda e terceira avaliação. Enquanto que em 2015 o mês de janeiro observou-se maior em índice pluviométrico em relação aos demais meses do período experimental, com níveis de chuva próximos a média para a região. Quanto à umidade relativa do ar, os meses de julho, agosto e setembro foram os mais úmidos no ano de 2014. Já em 2015 maio e junho foram os meses com umidade mais elevada e menor temperatura em relação aos outros meses.

Em Pelotas o maior volume de chuvas ocorreu nos meses de julho e outubro de 2014, maio e junho de 2015 correspondentes a primeira, segunda e sexta avaliação, respectivamente. As maiores temperaturas médias foram registradas nos meses de janeiro e fevereiro de 2015. Os meses com maior período de insolação foram novembro e dezembro de 2014, com 524,1 e 495,6 horas de insolação, janeiro e fevereiro de 2015, com 520,3 e 446 horas de insolação respectivamente (EMBRAPA, 2015).

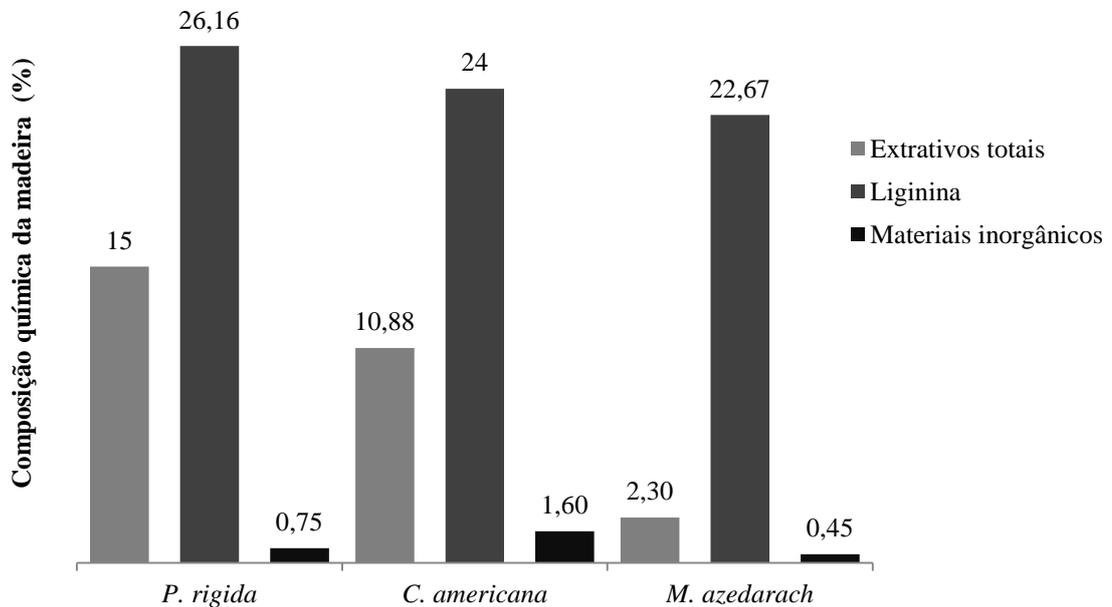
Com relação à área experimental de São Gabriel o mês de setembro no ano de 2014 apresentou o maior nível pluviométrico, seguido de outubro e dezembro, enquanto julho e agosto foram os meses que apresentaram menor nível. Já em 2015, os meses com maiores volumes de chuvas foram janeiro e junho. Os outros meses durante o período experimental apresentaram valores de precipitação inferiores. Quanto à umidade relativa, o mês de julho de 2014 mostrou-se com valor mais elevado com relação aos demais meses. Em 2015 os meses mais úmidos foram maio e junho.

A precipitação, temperatura e umidade relativa influenciam sobre a massa específica e a perda de massa da madeira exposta ao intemperismo, uma vez que são fatores climáticos importantes para o desenvolvimento e sobrevivência de micro-organismos xilófagos presentes no solo. Outro fator importante que atua sobre a degradação dos componentes estruturais da madeira é a radiação ultravioleta, provocando além da perda de massa e redução na massa específica a alteração da cor.

4.2 PROPRIEDADES QUÍMICAS

Considerando a importância da composição química da madeira sobre suas propriedades tecnológicas, os valores médios obtidos a partir da análise química quantitativa referente ao teor de extrativos, lignina e materiais inorgânicos, para o tratamento controle estão apresentados na Figura 5.

Figura 5 – Composição química quantitativa da madeira – Componentes macromoleculares, extrativos e materiais inorgânicos das amostras controle



A madeira de Cinamomo apresentou a menor porcentagem de extrativos totais, lignina e materiais inorgânicos com valores de 2,30%, 22,67% e 0,45%, respectivamente. Valores semelhantes foram encontrados por Trianoski (2010), ao estudar a composição química quantitativa da madeira de Cinamomo encontrou 4,41% de extrativos totais, 22,64% de lignina e 0,52% de materiais inorgânicos. Em concordância com Simões et al. (2007), o Cinamomo apresenta em sua constituição química limonóides, que são tetranotriterpenóides, conhecidos como meliacinas por possuir um sabor amargo e estar presente na família Meliaceae. Os autores afirmam que esta substância é tóxica para insetos e devido a isto protege a planta que a produz. Conforme Carvalho (1999), outra substância com ação inseticida encontrada no Cinamomo é azadiractina. Essas substâncias são encontradas em folhas, frutos e sementes em grande porcentagem, porém na madeira existe probabilidade de ser encontradas em menor quantidade.

Com relação à madeira de Guajuvira, a porcentagem média de extrativos totais, lignina e materiais inorgânicos encontrados foram 10,88%, 24% e 1,60%, respectivamente. A porcentagem de materiais inorgânicos está relacionada com o local de procedência da madeira em estudo e com a quantidade de minerais disponíveis para planta. O valor médio de

materiais inorgânicos encontrado na madeira de Guajuvira foi maior quando comparado ao Angico vermelho e Cinamomo.

A alta durabilidade da madeira está diretamente relacionada com a elevada porcentagem de extrativos totais, por apresentar compostos fenólicos entre outras substâncias que compõe esses extrativos e possuem toxicidade a organismos xilófagos. Observa-se que a maior taxa de degradação ocorreu na madeira com menor porcentagem de extrativos. O cerne da madeira de Guajuvira apresenta coloração escura, provavelmente devido ao acúmulo de fenóis e polifenóis na parede celular e lumens, substâncias consideradas tóxicas para insetos e fungos, o que confere alta durabilidade natural a madeira. Almeida (2013), em seu estudo sobre a avaliação do potencial de utilização residual de madeira tropical para a produção de painéis encontrou uma média percentual de 11,77% de extrativos totais na madeira de Guajuvira, valor similar ao encontrado no presente estudo.

Madeiras com teor de extrativos acima de 7% tendem a apresentar elevada durabilidade natural (CARNEIRO et al., 2008). Foi observado que as madeiras de Angico vermelho e Guajuvira apresentaram alta porcentagem de extrativos, ambas com boa durabilidade natural, enquanto que a madeira de Cinamomo com baixo teor de extrativos apresentou menor durabilidade. Porém, apenas a quantidade de extrativos e lignina presentes na madeira não é indicativa de durabilidade natural, além desses parâmetros, deve-se considerar principalmente a composição dos extrativos que apresentam toxicidade a agentes xilófagos.

A maior porcentagem de extrativos totais e lignina foi encontrada para madeira de Angico vermelho com 15% e 26,16% respectivamente, valores semelhantes aos obtidos por Gonçalves et al. (2013), que encontraram 14,93% de extrativos totais na madeira de Angico vermelho. Mori et al. (2003), avaliaram a composição química da madeira de Angico e encontraram uma média percentual para extrativos totais de 15,3 % e 24,31% de lignina. Oliveira et al. (2005), consideram que a porcentagem de extrativos difere do cerne mais interno para o recém formado. Para os autores, existe variação percentual dessas substâncias entre espécies e também quanto aos tipos de solventes que solubilizam os extrativos que apresentam ação inseticida e fungicida na madeira de alta durabilidade natural. Também afirmam que a eficiência de determinados solventes utilizados para remover extrativos responsáveis pela resistência natural, quanto ao apodrecimento causado por fungos de podridão parda, depende da espécie de madeira utilizada.

Após o ensaio de campo, foi possível observar a redução percentual de materiais inorgânicos, extrativos totais e lignina para as três espécies florestais estudadas.

Observa-se na Tabela 8 uma pequena redução na porcentagem de extrativos totais para as três espécies estudadas, essa redução possivelmente ocorreu devido à ação do intemperismo, principalmente pela lixiviação, insolação, ação de agentes xilófagos e presença de fungos responsáveis pela degradação de açúcares e amidos, permanecendo os compostos fenólicos com alta toxicidade a microorganismos que atuam na proteção da madeira o que contribui para uma baixa porcentagem de perda de massa, menor redução na massa específica e menor redução na resistência mecânica para o Angico vermelho e a Guajuvira.

Tabela 8 – Porcentagem de extrativos totais, lignina e materiais inorgânicos (\pm desvio padrão) da madeira de Angico vermelho, Guajuvira e Cinamomo após o ensaio de campo de apodrecimento em três áreas experimentais distintas

	Extrativos (%)	Lignina (%)	Materiais Inorgânicos (%)
Angico-vermelho	14,46 \pm 0,29	25,03 \pm 0,49	0,45 \pm 0,01
Guajuvira	10,50 \pm 0,32	23,64 \pm 0,24	1,35 \pm 0,006
Cinamomo	1,56 \pm 0,54	20,92 \pm 0,45	0,42 \pm 0,004

Ocorreu uma pequena redução na porcentagem de lignina e materiais inorgânicos para as três espécies florestais avaliadas, sendo mais acentuada na madeira de Cinamomo. Possivelmente esse decréscimo foi provocado pela ação de microorganismos e pela radiação ultravioleta. A degradação da lignina pela radiação ultravioleta produz quinonas que atuam como barreira contra ação de micro-organismos (LEPAGE, 1986; CAMPOS & SILVEIRA, 2003). A menor redução percentual de lignina foi obtida para a madeira de Guajuvira, a qual apresentou melhores propriedades tecnológicas, seguida do Angico vermelho.

4.3 EFEITO DOS TRATAMENTOS NOS PARÂMETROS AVALIADOS

Os valores de significância obtidos a partir da análise de variância para os parâmetros analisados (teor de umidade de equilíbrio, massa específica, perda de massa, módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR), dureza Janka, índice de deterioração, variação da cor e resistência biológica) estão descritos nas Tabelas 9 e 10.

Observa-se que os fatores espécie e avaliação foram altamente significativos ao nível de 1% de probabilidade de erro para todos os parâmetros analisados. O fator local não foi significativo apenas para os parâmetros teor de umidade de equilíbrio e MOR. Quanto às interações E x L foram significativas apenas para a massa específica e MOE, E x A não foi

significativa apenas para massa específica e dureza Janka (posição da amostra enterrada), a interação L x A foi significativa apenas para teor de umidade de equilíbrio e dureza Janka (posição da amostra exposta) e E x L x A foi significativa apenas para teor de umidade de equilíbrio, perda de massa e dureza Janka (posição da amostra enterrada).

O coeficiente de variação encontra-se dentro do padrão ideal de precisão para experimentos inteiramente casualizado.

Tabela 9 – Níveis de significância na análise de variância para as variáveis: TU (%), ME (g/cm³), MOE (MPa) e MOR (MPa) para os fatores E, L e A e interações entre fatores

CV	TU	ME	PM	MOE	MOR
Espécie (E)	21,0486**	1011,0307**	84,7194**	176,7528**	326,8659**
Local (L)	1,9373ns	7,0952**	4,2158 *	16,2194**	0,1749ns
Avaliação (A)	81,5589**	32,6477 **	311,2123**	74,7400**	66,0062**
E x L	0,6879ns	4,6473**	1,1437ns	4,6306**	0,7902ns
E x A	2,0398*	0,7580ns	35,3665**	3,8640**	2,8499**
L x A	2,1682*	1,1869ns	1,7295ns	0,9799ns	1,1511ns
E x L x A	1,6861*	0,5950ns	0,4083*	1,1951ns	0,9408ns
CV(%)	8,30	5,98	21,46	12,84	18,64

Em que: (*) efeito significativo em nível de 5% de probabilidade de erro; (**) efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; ns: não- significativo em nível de 5% de probabilidade de erro; CV: coeficiente de variação

Tabela 10 – Níveis de significância na análise de variância para as variáveis: Dureza Janka (posição da amostra enterrada e posição exposta), índice de deterioração e variação da cor para os fatores E, L e A e interações entre fatores

CV	DUR (Ent)	DUR (Exp)	ID	Var cor
Espécie (E)	428,2299**	307,3294**	528,7038**	189,5715**
Local (L)	3,3854 *	5,0354**	6,6329**	0,3315 ns
Avaliação (A)	28,6704**	21,0679**	248,7947**	-
E x L	1,0695ns	0,9754ns	1,2494 ns	0,2086 ns
E x A	1,7905ns	3,7138**	11,3426**	-
L x A	1,7988ns	1,8637*	0,5142ns	-
E x L x A	1,8038*	1,1214ns	0,5639 ns	-
CV(%)	16,47	16,48	3,40	8,66

Em que: (*) efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; (**) efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; ns: não- significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; CV: coeficiente de variação.

4.4 UMIDADE DE EQUILÍBRIO

Para a interação entre o fator espécie x avaliação (Tabela 11) observa-se diferença significativa ($F= 2,0398$; $p < 0,05$) entre a umidade de equilíbrio das espécies florestais estudadas com o tempo de coleta. A umidade de equilíbrio da madeira apresentou comportamento crescente no decorrer das avaliações e com o tempo de exposição sob condições favoráveis à degradação, mostrando-se diretamente proporcional ao tempo correspondente ao número de avaliações. Sendo assim, o tempo influenciou de forma significativa sobre a umidade de equilíbrio da madeira.

Tabela 11 – Interação entre os fatores espécie e avaliação para o parâmetro teor de umidade de equilíbrio (%)

Avaliação (mês)	Guajuvira	Angico-vermelho	Cinamomo
0	10,35	10,85	11,06
2	10,78 aD	10,89 aD	10,73 aC
4	12,45 bC	13,54aC	14,27 aB
6	13,02 bBC	14,08 aBC	14,67 aAB
8	13,56 bABC	14,67 aABC	14,13 abB
10	13,92 bAB	15,36 aA	15,07 aAB
12	14,59 bA	14,93 abAB	15,60 aA

Em que: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente; letras minúsculas na linha referem-se à avaliação e maiúscula na coluna refere-se à espécie (Tukey $p > 0,05$). O tempo foi levado em consideração como parâmetro qualitativo.

A interação entre o fator local x avaliação (Tabela 12) foi significativa ($F= 2,16$; $p < 0,05$). Observa-se o aumento da umidade de equilíbrio para as espécies florestais nas três regiões experimentais com relação ao tempo referente às avaliações, o que expressa a relação do tempo em que a madeira foi exposta à deterioração em função do local onde se encontrava à medida que aumentou o tempo de exposição, aumentou a umidade de equilíbrio da madeira em cada área experimental.

Tabela 12 – Interação entre os fatores local e avaliação para o parâmetro teor de umidade de equilíbrio (%)

Avaliação (mês)	Santa Maria	São Gabriel	Pelotas
2	10,95 bC	10,91 aC	10,54 aC
4	12,79 bC	13,91 aB	13,56 abB
6	13,86 aBC	13,87 aB	14,04 aAB
8	13,59 aBC	14,27 aAB	14,50 aAB
10	14,27 aB	15,22 aA	14,86 aA
12	15,47 aA	14,49 bAB	15,17 abA

Em que: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente; letras minúsculas na linha referem-se à avaliação e letras maiúsculas na coluna refere-se ao local (Tukey $p > 0,05$). O tempo foi levado em consideração como parâmetro qualitativo.

Quanto aos fatores espécie e avaliação analisados individualmente, observa-se diferença significativa ($F= 21,0486$ e $F= 81,5589$; $p < 0,01$), respectivamente. Já o fator local (Tabela 13) analisado individualmente não diferiu significativamente ($F= 1,9373$; $p > 0,05$), o que significa que não houve influência do local sobre o teor de umidade de equilíbrio da madeira. A Tabela 13 apresenta o teste de médias para os fatores local, espécie e avaliação nas distintas áreas experimentais.

Tabela 13 – Teste de médias do fator espécie e avaliação para a variável teor de umidade de equilíbrio da madeira submetida ao ensaio de campo de apodrecimento em três áreas experimentais distintas

Espécie	Umidade de equilíbrio
Guajuvira	13,05 b
Angico-vermelho	13,91 a
Cinamomo	14,08 a
Avaliação (mês)	Umidade de equilíbrio
2	10,80 e
4	13,42 d
6	13,93 cd
8	14,12 bc
10	14,78 ab
12	15,04 a

Em que: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente.

Com relação às espécies florestais, observa-se que as médias dos teores de umidade de equilíbrio diferem uma da outra, o que permite afirmar que a umidade de equilíbrio entre as

madeiras estudadas ocasionou efeito sobre as mesmas, considerando que são espécies anatomicamente distintas e apresentaram comportamento distinto quanto à perda de massa, decréscimo na massa específica e propriedades mecânicas e aumento no teor de umidade.

A madeira de Guajuvira apresentou menor umidade de equilíbrio em relação às outras espécies florestais avaliadas, também foi constatada a menor alteração na constituição química e menor perda de massa para essa espécie, seguida do Angico-vermelho.

Inicialmente houve um decréscimo no teor de umidade de equilíbrio para as três espécies florestais nas distintas áreas experimentais. A partir da segunda avaliação (4 meses) sob condições de deterioração ocorreu um acréscimo no teor de umidade da madeira para as três espécies estudadas. O aumento no teor de umidade de equilíbrio é provocado pelo aumento da quantidade de água adsorvida pelas paredes das células em consequência da alteração das propriedades químicas ocorridas pela biodegradação e ação do intemperismo.

4.5 MASSA ESPECÍFICA APARENTE

Observa-se que apenas a interação entre espécie x local (Tabela 9) apresentou diferença significativa ($F= 4,64$; $p < 0,01$) as demais interações não diferem significativamente.

Tabela 14 – Interação entre os fatores espécie e local para a variável massa específica aparente g/cm^3

Espécie	Santa Maria	São Gabriel	Pelotas
Guajuvira	0,83 bA	0,84 bA	0,82 bA
Angico-vermelho	0,92 aA	0,92 aA	0,87 aA
Cinamomo	0,62 cA	0,54 cA	0,61 cA

Em que: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,05$); letras minúsculas na coluna indicam espécie e letras maiúsculas na linha local.

Ao analisar a interação entre os fatores espécie x local, observa-se a redução da massa específica para as três espécies florestais em relação ao tempo de exposição às condições de deterioração nas três áreas experimentais. Essa redução ocorreu devido à ação do intemperismo e principalmente em função da presença de micro-organismos presentes no solo que atuaram sobre a degradação da madeira.

O fator local analisado individualmente (Tabela 15) foi significativo ($F= 7,09$; $p < 0,01$) para a variável massa específica aparente para as três espécies florestais estudadas. No

entanto, o local ocasionou efeito sobre a massa específica, uma vez que são regiões com diferentes tipos de solo e variáveis climáticas distintas, o que interfere principalmente na proporção de microorganismos presentes no local que podem atuar na decomposição da madeira, ocasionando redução na sua massa específica. Onde a madeira apresentou maior redução na massa específica para as três espécies florestais estudadas foi na área experimental de Pelotas, provavelmente devido ao maior índice pluviométrico nos últimos meses de avaliações e à ação de organismos xilófagos.

Tabela 15 – Comparação de médias do fator local para as três espécies florestais estudadas

Local	ME aparente g/cm ³
Santa Maria	0,79 a
São Gabriel	0,78 a
Pelotas	0,76 b

Em que: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente.

O fator avaliação (Tabela 16) para as três áreas experimentais foi significativo para a massa específica ($F=32,64$; $p < 0,01$). Observa-se que a massa específica da madeira reduziu com o tempo de exposição à deterioração, sendo que a quarta avaliação (8 meses) difere de todas, pois nesse período (janeiro e fevereiro) os fatores climáticos (temperatura, umidade relativa e precipitação elevada) influenciaram a redução da perda de massa e consequentemente da massa específica da madeira.

Tabela 16 – Teste de médias para a massa específica das madeiras estudadas após o ensaio de campo de apodrecimento em três áreas experimentais distintas

Avaliação (mês)	ME aparente g/cm ³
2	0,815 a
4	0,815 a
6	0,808 a
8	0,778 b
10	0,742 c
12	0,723 c

Em relação às espécies florestais submetidas às condições de deterioração (Tabela 17), as madeiras de Guajuvira e Angico-vermelho apresentaram menor redução na massa específica em comparação com o Cinamomo. As primeiras são madeiras mais densas e com

alta porcentagem de extrativos provavelmente de caráter tóxicos presentes no cerne, o que confere a elas maior capacidade de resistir à ação de microorganismos. Da massa específica dependem outras propriedades tecnológicas da madeira, como resistência mecânica e instabilidade dimensional pela perda ou absorção de água. Quanto maior a massa específica, maiores suas propriedades mecânicas e elásticas (MORESCHI, 2010).

Tabela 17 – Massa específica aparente obtida para as madeiras de Guajuvira, Angico-vermelho e Cinamomo submetidas ao ensaio de campo

Espécie	ME aparente g/cm ³
Guajuvira	0,831 b
Angico-vermelho	0,905 a
Cinamomo	0,605 c

As três espécies florestais apresentaram redução no valor da massa específica ao final do ensaio de campo sob condições de intemperismo e exposição a agentes biológicos (Tabela 18).

Tabela 18 – Massa específica aparente (g/cm³) das três espécies florestais submetidas às condições de deterioração em três áreas experimentais distintas

Avaliação (mês)	Angico-vermelho	Cinamomo	Guajuvira
Pelotas			
0	0,97	0,68	0,89
1	0,94	0,67	0,85
2	0,93	0,62	0,85
3	0,91	0,64	0,83
4	0,83	0,59	0,81
5	0,79	0,56	0,79
6	0,78	0,54	0,76
São Gabriel			
0	0,97	0,68	0,89
1	0,94	0,62	0,88
2	0,95	0,62	0,88
3	0,93	0,61	0,83
4	0,92	0,61	0,83
5	0,89	0,54	0,8
6	0,87	0,52	0,78
Santa Maria			
0	0,97	0,68	0,89
1	0,95	0,65	0,86
2	0,95	0,64	0,85
3	0,94	0,62	0,85
4	0,91	0,62	0,85
5	0,89	0,57	0,79
6	0,87	0,55	0,77

A madeira de Cinamomo apresentou maior redução na massa específica, maior porcentagem de perda de massa e menor resistência mecânica em comparação com a Guajuvira e Angico vermelho. Madeiras com baixa densidade e baixo teor de extrativos como o Cinamomo oferecem menor estabilidade à deterioração (MORESCHI, 2010).

As madeiras de Guajuvira e Angico-vermelho apresentaram maior redução na massa específica na área experimental de Pelotas, enquanto que o Cinamomo obteve maior redução em São Gabriel, onde a presença de insetos xilófagos e fungos sobre a madeira desta espécie, logo após a coleta para avaliações, era evidentemente maior em comparação com os demais locais (Figura x). Sendo assim, é possível afirmar que a redução na massa específica ocorreu em função da perda de massa ocasionada pela ação do intemperismo e por agentes biológicos.

4.6 PERDA DE MASSA

A interação entre os fatores local x espécie x avaliação (Tabela 10) foi significativa ($F= 0,4083$; $p < 0,05$) e a interação entre o fator espécie x avaliação foi altamente significativa ($F=35,3665$; $p < 0,01$) enquanto que as demais interações não ocasionaram efeito significativo sobre a perda de massa.

Ao analisar a Tabela 19 verifica-se que a perda de massa da madeira para as três espécies florestais estudadas aumentou em função do tempo referente ao número de avaliações nas três áreas experimentais distintas. O que indica que existe relação diretamente proporcional da variável perda de massa com o tempo de exposição da madeira submetida à deterioração.

Tabela 19 – Interação entre o fator espécie x avaliação para a variável perda de massa

Espécie	Avaliação (mês)					
	2	4	6	8	10	12
Guajuvira	1,42 aC	1,43 aC	1,71 aBC	2,26 bB	2,88 cA	3,16 Ca
Angico-vermelho	1,05 aC	1,21 aC	1,54 aC	2,51 bB	3,38 bA	3,75 Ba
Cinamomo	0,58 bD	1,00 aD	1,82 aC	3,57 aB	5,55 aA	6,00 Aa

Em que: As médias seguidas por letra minúscula na coluna refere-se à avaliação e maiúscula na linha refere-se à espécie; mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,01$ %). O tempo foi levado em consideração como parâmetro qualitativo.

A porcentagem de perda de massa para as madeiras de Guajuvira e Angico-vermelho, apresentou diferença a partir da terceira avaliação (6º mês), com acréscimo na perda de massa em função do tempo de deterioração. Já para a madeira de Cinamomo, observa-se diferença até a quarta avaliação. A partir da quinta avaliação (10º mês) é possível observar (Tabela 20) que a perda de massa não diferiu da sexta avaliação (12º mês) para as três espécies florestais, o que significa que as mesmas apresentaram uma tendência à estabilização na porcentagem de perda de massa.

Para o fator espécie analisado individualmente (Tabela 20) observa-se que houve diferença significativa ($F= 84,7194$; $p < 0,01$) entre os valores da variável analisada para as três espécies florestais. As madeiras de Guajuvira e Angico-vermelho apresentaram menor porcentagem perda de massa em comparação ao Cinamomo.

Tabela 20 – Comparação múltipla de médias para a perda de massa em função das espécies, avaliações e local nas três áreas experimentais distintas

Espécie	Perda de massa (%)
Angico-vermelho	2,24 b
Guajuvira	2,14 b
Cinamomo	3,09 a
Local	Perda de massa (%)
Santa Maria	2,44 ab
São Gabriel	2,40 b
Pelotas	2,62 a
Avaliação (mês)	Perda de massa (%)
2	1,02 e
4	1,21 e
6	1,69 d
8	2,78 c
10	3,94 b
12	4,30 a

Em que: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,05$ %).

Quanto ao fator local observou-se diferença de 5 % de probabilidade ($F= 4,21$; $p < 0,05$) entre as regiões experimentais, a maior porcentagem de perda de massa para as três espécies florestais foi obtida na região de Pelotas (Tabela 20). Para o fator avaliação observa-se diferença altamente significativa ($F= 311,2123$; $p < 0,01$) com aumento na perda de massa no decorrer das avaliações.

Os valores médios percentuais de perda de massa da madeira submetida ao campo de apodrecimento em distintas regiões estão representados na Tabela 21. Como mencionado anteriormente, foi possível observar o aumento da perda de massa com o tempo de exposição à deterioração para as três espécies florestais avaliadas, sendo a maior porcentagem para madeira de Cinamomo em comparação às outras duas espécies.

Tabela 21 – Perda de massa (%) média da madeira submetida ao campo de apodrecimento nas distintas áreas experimentais

Avaliação	Mês	Santa Maria	São Gabriel	Pelotas
Cinamomo				
1	2	0,34	0,61	0,53
2	4	0,92	1,25	0,80
3	6	1,75	1,79	1,92
4	8	3,42	3,30	4,00
5	10	5,50	5,49	5,66
6	12	5,95	5,69	6,35
Guajuvira				
1	2	1,52	1,38	1,35
2	4	1,59	1,15	1,56
3	6	1,71	1,63	1,79
4	8	1,96	1,97	2,86
5	10	3,00	2,55	3,07
6	12	3,27	2,84	3,37
Angico-vermelho				
1	2	1,13	1,12	0,96
2	4	1,28	1,21	1,12
3	6	1,31	1,69	1,61
4	8	2,40	2,23	2,81
5	10	3,15	3,38	3,61
6	12	3,69	3,70	3,84

A madeira de Cinamomo inicialmente apresentou baixa porcentagem de perda de massa, aumentando a partir da terceira avaliação (6° mês). Esse comportamento provavelmente ocorreu devido à presença de substâncias tóxicas a micro-organismos, o que inibiu o ataque inicial nos primeiros meses de exposição à deterioração. Foi observado um expressivo aumento percentual dessa variável para a espécie no décimo mês (quinta avaliação) em todas as regiões experimentais, havendo pouca variação entre o décimo e décimo segundo mês de exposição. Essa espécie apresentou maior redução percentual de extrativos totais e lignina, além da maior redução na massa específica e menor resistência mecânica em comparação com as outras duas espécies avaliadas.

Quanto às madeiras de Guajuvira e Angico-vermelho verifica-se que a porcentagem de perda de massa foi superior à madeira de Cinamomo apenas nos primeiros dois meses de avaliação conforme a Tabela acima após mantiveram seu comportamento com baixa perda de massa durante seis meses de exposição ao intemperismo, observando um aumento

razoavelmente baixo desses valores a partir da quarta avaliação (8º mês) para o Angico-vermelho e quinta avaliação (10º mês) para a Guajuvira. Essa perda de massa inicial possivelmente ocorreu devido à degradação fotoquímica da lignina nos primeiros meses de exposição à radiação ultravioleta e à presença de substâncias como açúcares e amidos atrativos a microorganismos, permanecendo os compostos tóxicos, provavelmente de caráter fenólico que inibiram a ação de agentes biológicos, protegendo a madeira contra a deterioração.

A maior porcentagem de perda de massa, assim como a maior redução na massa específica para as três espécies florestais ocorreu na região de Pelotas, onde foi constatado o local com maior umidade relativa durante o período de avaliação, sendo que as duas últimas avaliações apresentaram o maior nível pluviométrico em comparação com as outras regiões experimentais.

A temperatura, umidade e pH do solo são fatores de grande relevância e devem ser considerados ao se trabalhar com durabilidade natural, pois influenciam o desenvolvimento de microorganismos que atuam na decomposição da madeira. Conforme Morselli (2009), a composição da comunidade edáfica e a degradação de materiais de origem biológica dependem das condições físico-químicas do solo. Segundo a autora, há uma predominância de insetos, como cupins, formigas, larvas de dípteros, coleópteros e nematóides em solos onde a temperatura média anual é elevada. Portanto a temperatura é um dos fatores mais importantes para a sobrevivência da fauna edáfica. Durante o período experimental a região com temperaturas mais elevadas foi São Gabriel, porém a região com o maior nível pluviométrico nos últimos meses de avaliação foi Pelotas.

Durante a realização de todas as avaliações observou-se a presença de alguns insetos xilófagos e fungos manchadores impregnados na madeira em todas as áreas experimentais, o que indica que em todos os locais de instalação não houve limitação para presença desses organismos que atuaram na degradação da madeira. Não foi identificada a presença de rachaduras na madeira exposta, assim como não foi observado apodrecimento na posição da amostra enterrada, apenas manchas provocadas por fungos, com exceção da madeira de Cinamomo que apresentou fissuras e algumas galerias na área enterrada, provavelmente devido à presença de cupins subterrâneos.

Outro fator importante a considerar é a incidência de radiação ultravioleta sobre a madeira exposta às condições adversas no campo, pois ela provoca degradação dos constituintes químicos estruturais do lenho, além de alterar seus parâmetros colorimétricos. De acordo com Vivian (2012), essa exposição ocasiona uma brusca secagem e umedecimento

gerando tensões que causam rachaduras na madeira. O autor afirma que essas aberturas formadas pelas rachaduras acumulam umidade, favorecendo o ataque de fungos e posteriormente de térmitas.

Romanini et al. (2014) avaliaram a durabilidade natural de quatro espécies amazônicas em ensaio de deterioração de campo, onde as espécies mais resistentes à deterioração foram o Cumaru com maior teor de extrativos totais (11,50%) e maior densidade (0,94 g/cm³) e Itaúba com 8,21% de extrativos totais e densidade 0,80 g/cm³. Situação semelhante ocorreu com as espécies florestais utilizadas no presente estudo, as madeiras com maior porcentagem de extrativos totais e maior densidade apresentaram maior resistência à deterioração.

Espécies florestais com porcentagem de extrativos totais acima de 7% apresentam boa durabilidade e baixa perda de massa quando submetidas à deterioração (CARNEIRO et al., 2009). Entretanto a baixa porcentagem da perda de massa para a madeira de Guajuvira e Angico vermelho em comparação com o Cinamomo, está relacionada à presença de extrativos (10,88% e 15,0%, respectivamente) no cerne, com alta toxicidade a microorganismos xilófagos e fungos manchadores e apodrecedores inibindo a ação desses patógenos e protegendo a madeira.

4.7 PROPRIEDADES MECÂNICAS

4.7.1 Flexão estática

Os fatores local, espécie e avaliação para o módulo de elasticidade apresentaram diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade, além das interações entre o fator local e espécie, bem como espécie e avaliação. Já as demais interações não apresentaram diferença significativa, não ocasionando efeito sobre o MOE.

A interação entre o fator espécie x local (Tabela 22), foi altamente significativa (F= 4,63; p < 0,01), verificando-se que o MOE das espécies florestais estudadas apresentou comportamento distinto nas três regiões experimentais.

Tabela 22 – Interação entre os fatores espécie e local para o MOE (MPa) das espécies florestais em função do local

Espécie	Local		
	Santa Maria	São Gabriel	Pelotas
Guajuvira	10761,2 aB	12248,5 aA	11018,1 aB
Angico-vermelho	10727,8 aA	10461,4 bA	9617,1 bB
Cinamomo	8188,2 bA	8296,7 cA	7169,9 cB

Em que: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente; letras minúsculas na linha referem-se a espécie e letras maiúsculas na coluna refere-se ao local.

Em relação à interação entre espécie x avaliação percebe-se que foi altamente significativa ($F= 3,86$; $p < 0,01$), sendo possível observar a redução do MOE para as três espécies florestais em função do tempo de avaliações (Tabela 23).

À medida que a madeira ficou exposta ao solo sob condições de deterioração (avaliação 1 à 6) ocorreu redução na massa específica, perda de massa e conseqüentemente redução nas propriedades mecânicas.

Tabela 23 – Interação entre o fator espécie x avaliação do MOE (MPa) para as espécies florestais estudadas

Espécie	Avaliação (mês)					
	2	4	6	8	10	12
Guajuvira	121668 aAB	13404,8aA	11635,3 aB	11773aB	9496 aC	9577 aC
Angico-vermelho	11796,2 aA	11482 bA	10689,4 aAB	10101bB	9461,9 aB	8081 bC
Cinamomo	1044,9 bA	9429,65 cAB	8914,5 bBC	7777 cC	5459,8 bD	5283 cD

Em que: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente; letras minúsculas na coluna referem-se à avaliação e letras maiúsculas na linha refere-se à espécie. O tempo foi levado em consideração como parâmetro qualitativo.

Ao analisar o fator espécie individual (Tabela 22), verifica-se que o MOE diferiu para as três espécies florestais. A madeira de Guajuvira e Angico-vermelho com alta densidade ($0,89 \text{ g/cm}^3$ e $0,97 \text{ g/cm}^3$) respectivamente e alta porcentagem de extrativos totais (10,88% e 15,0%) apresentaram menor redução no MOE, menor perda de massa e menor redução na massa específica em relação ao Cinamomo que apresenta uma densidade menor ($0,68 \text{ g/cm}^3$) e baixa porcentagem de extrativos totais (2,30 %).

Quanto ao fator local analisado individualmente, observa-se que ocasionou diferença significativa ($F= 16,2194$; $p < 0,01$) sobre o módulo de elasticidade, sendo a região experimental de Pelotas, onde foi constatado o maior índice pluviométrico nos últimos meses

do experimento, e as madeiras estudadas apresentaram maior redução do MOE, maior porcentagem de perda de massa e maior redução na massa específica.

Para o fator avaliação observado individualmente houve diferença significativa ($F=74,74$; $p < 0,01$). Verifica-se a redução do MOE (Tabela 24) no decorrer das avaliações com o aumento da perda de massa e o decréscimo da massa específica em função do tempo de exposição às condições favoráveis à degradação.

Tabela 24 – Comparação múltipla de médias para o módulo de elasticidade (MOE) em função do local, espécie e avaliação

Espécie	Módulo de elasticidade (MPa)	
Guajuvira	11342	a
Angico-vermelho	10268	b
Cinamomo	7884	c
Local	Módulo de elasticidade (MPa)	
Santa Maria	9892	a
São Gabriel	10335	a
Pelotas	9268	b
Avaliação (mês)	Módulo de elasticidade (MPa)	
2	11470	a
4	11438	a
6	10413	b
8	9884	b
10	8139	c
12	7647	c

Em que: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

É possível observar o decréscimo do MOE (Tabelas 23) para as três espécies florestais ocasionado pelo processo de degradação, com algumas variações no decorrer das avaliações durante o período de 360 dias sob condições favoráveis a deterioração.

A madeira de Guajuvira apresentou maior redução no valor do MOE a partir da quarta avaliação, sendo observada pouca oscilação entre a quinta e sexta avaliação nas três regiões experimentais. A madeira de Angico-vermelho apresentou comportamento semelhante a Guajuvira, com algumas oscilações no decorrer das avaliações (Tabela 25). Essas oscilações podem ser explicadas pelo fato da decomposição da madeira não ser um processo contínuo, conforme Aprile et al. (1999), o tempo que a madeira leva para se decompor apresenta intervalos de inibição, devido a limitação ou inibição completa de processos biológicos, químicos ou físicos que atuam na decomposição.

Tabela 25 – Módulo de elasticidade (MPa) da madeira submetida ao campo de apodrecimento

Avaliação	Tempo	Santa Maria	São Gabriel	Pelotas
Número	Mês	Guajuvira		
0	0	13712,66	13712,66	13712,70
1	2	11797,31	13462,72	11246,90
2	4	12573,52	14576,69	12534,60
3	6	1205,31	12555,39	11152,20
4	8	12005,24	12135,01	1180,24
5	10	8092,70	10143,77	10252,40
6	12	8370,67	10617,81	9008,63
Número	Mês	Angico-vermelho		
0	0	13425,29	13425,29	13425,3
1	2	12242,72	12205,6	10940,3
2	4	1121,57	11718,26	11606,9
3	6	10879,60	11144,19	10044,6
4	8	10951,87	10528,64	8824,93
5	10	10335,28	9142,00	8908,54
6	12	8835,86	8029,89	7379,15
Número	Mês	Cinamomo		
0	0	10794,66	10794,66	10794,70
1	2	10602,60	10061,40	10070,70
2	4	9942,33	10003,10	8343,60
3	6	9021,13	8699,07	9023,38
4	8	8670,95	8342,52	6319,33
5	10	5587,86	6533,44	4258,31
6	12	5304,92	5541,11	4536,99

Com relação ao módulo de ruptura (MOR) também se evidenciaram algumas oscilações no decorrer das avaliações. Quanto às interações para a variável módulo de ruptura das madeiras avaliadas, observa-se diferença significativa apenas para a interação entre o fator espécie x avaliação ($F= 2,4899$; $p < 0,01$), o que indica que a relação das espécies florestais com o tempo de exposição sob condições de deterioração ocasionou efeito sobre o MOR, sendo possível observar seu decréscimo em função do tempo correspondente ao número de avaliações (Tabela 26).

Tabela 26 – Interação entre o fator espécie e local para o MOR (MPa) das espécies florestais em função do tempo de avaliação

Espécie	Avaliação (mês)					
	2	4	6	8	10	12
Guajuvira	134 aB	161 aA	138 aB	109 aC	100 aC	96 aC
Angico-vermelho	126 aA	137 bA	123 aA	103 aB	96 aB	92 aB
Cinamomo	93 bA	79 cAB	61 bBC	47 bcD	36 bD	30 bD

Em que: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente; letras minúsculas na linha referem-se à avaliação e letras maiúsculas na coluna refere-se à espécie. O tempo foi levado em consideração como parâmetro qualitativo.

Os fatores espécie e avaliação apresentaram diferença significativa ($F= 326,8659$ e $F= 66,0062$; $p < 0,01$ respectivamente), o que indica que ocasionaram efeito sobre o MOR. Já o fator local não ocasionou efeito significativo ($F= 0,1749$; $p > 0,05$).

A Tabela 27 apresenta a comparação múltipla de médias para o módulo de ruptura (MOR) em função da espécie, local e avaliação.

Tabela 27 – Teste de médias para o módulo de ruptura – MOR (MPa) em função da espécie, local e avaliação

Espécie	MOR (MPa)
Guajuvira	123,42 a
Angico-vermelho	113,34 b
Cinamomo	58,47 c
Avaliação (mês)	MOR (MPa)
2	118,42 ab
4	126,44 a
6	107,97 b
8	87,126 c
10	77,73 cd
12	72,99 d

Em que: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente.

O fator espécie analisado individualmente, diferiu significativamente, sendo a madeira de Guajuvira com menor redução do MOR seguido do Angico-vermelho e a maior redução foi constatada para a madeira de Cinamomo, assim como para o MOE. O fator local, avaliado individualmente, não ocasionou diferença significativa sobre o MOR, já para o fator

avaliações houve redução significativa do MOR, com perda de resistência em função do tempo de exposição às condições de deterioração.

Observa-se a redução do MOR (Tabela 28) à medida que aumenta a deterioração das peças de madeira, com o aumento da perda de massa e redução na massa específica. Assim como o MOE, é possível observar algumas oscilações nos valores do MOR para a madeira de Guajuvira e Angico vermelho entre a primeira e segunda avaliação.

Tabela 28 – Módulo de ruptura (MPa) da madeira submetida ao campo de apodrecimento em distintas regiões

Avaliação	Tempo	Santa Maria	São Gabriel	Pelotas
Número	Mês	Angico-vermelho		
0	0	123,82	123,82	123,82
1	2	140,59	113,7	126,09
2	4	137,13	132,16	143,86
3	6	120,83	133,32	116,94
4	8	112,61	102,24	96,61
5	10	99,66	94,74	93,64
6	12	92,56	94,81	88,64
Número		Cinamomo		
0	0	97,92	97,92	97,92
1	2	88,06	98,72	94,82
2	4	82,39	79,60	76,62
3	6	61,38	58,78	65,64
4	8	46,69	45,93	51,08
5	10	34,24	38,19	38,34
6	12	28,50	38,57	28,65
Número		Guajuvira		
0	0	163,93	163,93	163,93
1	2	134,45	137,33	131,99
2	4	166,53	162,97	147,25
3	6	141,12	143,68	130,04
4	8	117,40	121,28	108,112
5	10	94,98	98,48	107,31
6	12	99,34	97,64	104,78

Assim como foi observado no MOE, as madeiras de Angico-vermelho e Guajuvira apresentaram maior redução no MOR a partir da quarta avaliação nas três áreas experimentais. Já a madeira de Cinamomo obteve maior redução no MOR a partir da terceira avaliação, sendo a espécie com menor resistência mecânica quando comparada com o Angico-vermelho e Guajuvira. Além de ser a espécie florestal com maior porcentagem de

perda de massa e redução na massa específica, possui baixo teor de extrativos e obteve maior redução percentual de lignina em comparação com as outras espécies em estudo.

Trevisan et al. (2006), avaliaram as propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais em função da deterioração em dois ambientes (floresta e campo), onde observaram que a madeira de Cinamomo obteve uma redução de 22 % no MOR após o intemperismo.

A redução nos valores de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) na flexão estática foi ocasionada em função do decréscimo na porcentagem de lignina, massa específica e perda de massa, intensificando a deterioração das peças de madeira.

4.7.2 Dureza Janka

Com relação às interações, apenas a interação entre espécie x local x avaliação foi significativa ($F= 1,8038$; $p < 0,05$) referente a área enterrada das peças de madeira. Já para a área exposta, a interação entre os fatores espécie x avaliação diferiram significativamente ($F= 3,7138$; $p < 0,01$), assim como a interação entre local x avaliação ($F= 1,8637$; $p < 0,05$).

Para a área da madeira enterrada observou-se que o fator espécie e avaliação, apresentaram diferença altamente significativa ($F= 428,2299$ $F= 28,6704$; $p < 0,01$) e o fator local diferiu significativamente ($F= 3,3854$; $p < 0,05$). Na posição da peça de madeira exposta os três fatores foram altamente significativos ao nível de 1% de probabilidade de erro.

Por meio da Tabela 29 pode ser observada a comparação múltipla de média da dureza Janka (Força/ área enterrada e exposta) entre as madeiras estudadas nas diferentes áreas experimentais.

Tabela 29 – Comparação de médias dos fatores espécie, local e avaliação para dureza Janka (Força/ área enterrada e exposta) na seção tangencial entre as madeiras estudadas

	Área enterrada	Área exposta
Espécie	Dureza Janka (Kgf/cm ²)	Dureza Janka (Kgf/cm ²)
Angico-vermelho	607,29 a	615,40 a
Guajuvira	615,87 a	609,19 a
Cinamomo	353,13 b	388,17 b
Local	Dureza Janka (Kgf/cm ²)	Dureza Janka (Kgf/cm ²)
Pelotas	527,96 ab	523,47 b
São Gabriel	511,07 b	533,41 ab
Santa Maria	537,25 a	555,87 a
Avaliação (mês)	Dureza Janka (Kgf/cm ²)	Dureza Janka (Kgf/cm ²)
2	604,26 a	597,01 a
4	524,22 b	515,33 c
6	524,71 b	528,68 bc
8	527,08 b	555,71 abc
10	520,51 b	569,03 ab
12	433,81 c	459,70 d

Em que: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,05$).

O fator local analisado individualmente ocasionou diferença significativa sobre a dureza Janka tanto na área exposta quanto na enterrada. Na área experimental de São Gabriel, as peças de madeira na área enterrada apresentaram menor resistência à dureza Janka em relação às áreas de Santa Maria e Pelotas, devido à presença de determinados microorganismos encontrados nessa região em maior quantidade quando comparado às outras regiões. Na posição exposta das peças, a menor resistência foi constatada na área experimental de Pelotas, onde o nível pluviométrico foi mais elevado em relação às outras regiões nos últimos meses de exposição às condições de deterioração, além da alta umidade e insolação.

Com relação às espécies florestais, as madeiras de Guajuvira e Angico-vermelho submetidas ao ensaio de campo de apodrecimento, apresentaram maior resistência à dureza Janka nas três regiões experimentais distintas em comparação ao Cinamomo. A alta concentração de extrativos especialmente de caráter fenólico provavelmente contribuiu para esse comportamento da madeira de Guajuvira e Angico-vermelho. A resistência foi maior na área exposta quando comparada com a área enterrada, provavelmente devido à deterioração provocada por organismos xilófagos ser mais intensa no solo do que na área exposta.

Em relação ao fator avaliação, percebe-se que com o tempo de exposição à deterioração ocorreu uma redução na resistência a dureza Janka, tanto na área exposta quanto enterrada, assim como na flexão estática acompanhando o aumento da perda de massa, redução da massa específica e alteração nos parâmetros colorimétricos.

4.8 ÍNDICE DE DETERIORAÇÃO

Apenas a interação entre espécie e avaliação foi significativa ($F= 11,346$; $p < 0,01$). Já as demais interações não ocasionaram efeito significativo sobre o índice de deterioração.

Verifica-se (Tabela 30) a interação dos fatores espécie x avaliação em que o índice de deterioração para as espécies florestais diferiu no decorrer das avaliações, intensificando a deterioração das peças com o tempo de exposição às condições adversas e em contato com o solo.

Tabela 30 – Interação dos fatores espécie x avaliação para o índice de deterioração das madeiras submetidas ao ensaio campo de apodrecimento

Espécie	Avaliação (mês)					
	2	4	6	8	10	12
Guajuvira	95 aA	92,33 aAB	90,06 aB	85,33 bC	81 aD	79,93 aD
Angico-vermelho	94,86 aA	93,13 aAB	90,40 aBC	89 aC	83 aD	80 aD
Cinamomo	87 bA	86,86 bA	75,06 bB	71,60 cC	69 bCD	66,40 bD

Em que: letras maiúsculas na coluna referem-se à espécie e letras minúsculas na linha à avaliações.

O teste de médias para o índice de deterioração em função das espécies, local e avaliações está descrita na Tabela 31. O fator espécie diferiu significativamente ($F= 528,7038$; $p < 0,01$). As madeiras de Guajuvira e Angico-vermelho mostraram-se mais resistentes às condições favoráveis à degradação, apresentando menor índice de deterioração em comparação com o Cinamomo quando submetidas às condições de intempéries e em contato direto com o solo.

Quanto ao fator local observou-se diferença significativa ($F= 6,6329$; $p < 0,01$). A região experimental de Santa Maria diferiu das regiões de São Gabriel e Pelotas, onde a madeira apresentou índice de deterioração inferior, considerando a presença de microorganismos xilófagos, fungos e umidade mais elevada na região de São Gabriel e Pelotas, respectivamente.

Em relação ao fator avaliação, observa-se que houve redução significativa ($F=248,7947$; $p < 0,01$) no índice de deterioração das espécies florestais no decorrer do tempo de exposição ao intemperismo e à presença de microorganismos que atuaram sobre a degradação da madeira.

Tabela 31 – Teste de médias para o índice de deterioração da madeira em função da espécie, local e coleta

Espécie	Índice de deterioração
Angico-vermelho	83,77 b
Guajuvira	88,62 a
Cinamomo	76,06 c
Local	Índice de deterioração
Santa Maria	84,90 a
São Gabriel	83,43 b
Pelotas	83,73 b
Avaliação (mês)	Índice de deterioração
2	95,35 a
4	90,77 a
6	85,17 b
8	82,04 c
10	78,13 d
12	75,64 e

Em que: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,05$).

Ocorreu o escurecimento das peças de madeira na parte exposta, tornando-as com aspecto envelhecido devido à incidência da radiação ultravioleta, responsável pela fotodegradação dos constituintes químicos da madeira. Trevisan (2006), constatou a mesma tendência para a madeira submetida à deterioração. Vivian (2012) também afirma que a madeira de *E. grandis* e *E. cloeziana* submetidas ao ensaio de campo de apodrecimento apresentaram alteração na cor, com escurecimento e aspecto envelhecido. A alteração da cor tem início com o processo de degradação da lignina pela oxidação, formando quinonas. Dependendo da composição dos extrativos, a madeira adquire tonalidade escura, amarelada ou acinzentada (PASTORE et al. 2007).

Ao longo das avaliações não se observou rachaduras, empenamentos ou quebra das amostras, com exceção da madeira de Cinamomo que apresentou algumas galerias (Figura 6) na posição da peça enterrada provocadas por cupins subterrâneos a partir da quarta avaliação (240 dias).

Figura 6 – Aspecto visual da madeira de Cinamomo, posição da peça (enterrada)



O principal parâmetro para avaliar a durabilidade natural da madeira submetida ao ensaio de campo de apodrecimento é por meio da análise subjetiva, em que é realizada uma análise visual e atribuída uma nota de acordo com o estado de sanidade da madeira avaliada (MELO, 2010).

Por meio da Tabela 32 pode ser observado o índice de deterioração das madeiras estudadas submetidas ao campo de apodrecimento em três regiões experimentais distintas. Verifica-se para as madeiras de Guajuvira e Angico-vermelho que os valores encontrados foram superiores aos do Cinamomo, indicando que as madeiras de Guajuvira e Angico-vermelho apresentaram maior resistência quando exposta às condições de intemperismo e em contato direto como o solo.

Tabela 32 – Índice de deterioração das madeiras estudadas submetidas ao ensaio de campo em distintas áreas experimentais

Avaliação	Tempo	Santa Maria	São Gabriel	Pelotas
Número	Mês	Angico- vermelho		
1	0	100	100	100
2	2	95	94	94
3	4	93	92	91
4	6	90	90	89
5	8	86	86	85
6	10	82	81	81
7	12	80	79	79
Guajuvira				
1	0	100	100	100
2	2	95	94	94
3	4	92	93	93
4	6	90	89	90
5	8	89	89	89
6	10	84	82	82
7	12	81	80	79
Cinamomo				
1	0	100	100	100
2	2	92	89	90
3	4	88	85	89
4	6	75	72	73
5	8	73	70	71
6	10	70	68	69
7	12	67	65	64

4.9 ALTERAÇÃO COLORIMÉTRICA

A cor da madeira é caracterizada pela luminosidade (L^*), pelas coordenadas a^* e b^* , saturação (C^*) e ângulo de tinta (h). Com base nos valores mensurados dessas variáveis e com o auxílio de uma tabela de classificação de cores da madeira elaborada por Camargos e González (2001), foi possível classificar a cor das madeiras avaliadas anteriormente ao ensaio de campo de apodrecimento.

A madeira de Angico-vermelho apresentou (Tabela 33) valor de L^* (67,55) para as coordenadas a^* (11,92) e b^* (24,79). O ângulo de tinta (h) confirma maior proximidade com o eixo vermelho, tornando evidente a importância da pigmentação vermelha (coordenada a^*).

Conforme Amorim et al. (2013), a coordenada a^* é responsável pela pigmentação vermelha e b^* pigmentação amarela. Ao observar os valores encontrados para a luminosidade L^* , coordenadas a^* e b^* e ângulo de tinta (h) é possível classificar a cor da madeira de Angico-vermelho como vermelho-alaranjado.

A cor da madeira de Cinamomo foi classificada como amarelo-alaranjado, o alto valor encontrado para luminosidade L^* (74,39) indica ser uma madeira de cor clara, uma vez que os valores de L^* encontram-se entre 0 (preto) e 100 (branco), as coordenadas a^* (9,59) e b^* (22,85) por serem positivas indica pigmentação vermelha e amarelada, respectivamente. O elevado valor encontrado para b^* confirma a predominância da tonalidade amarelo. De acordo com Atayde et al. (2011), a cromaticidade (C) é influenciada pelas coordenadas a^* e b^* , conforme aumentam essas duas coordenadas, maior a cromaticidade, evidenciando o aumento nos pigmentos vermelho e amarelo, indicando maior saturação da cor. A cor secundária laranja é a soma das cores vermelho e amarelo (CAMARGOS & GONÇALEZ, 2001).

Já a madeira de Guajuvira apresentou valor de L^* (luminosidade) 53,26 indicando ser uma madeira de cor escura por apresentar um valor de L^* mais baixo em comparação as outras madeiras estudadas. E para as coordenadas a^* (7,27) e b^* (20,17). Os valores encontrados para os parâmetros colorimétricos da madeira de Guajuvira se enquadram na tabela de classificação da cor de madeiras elaborada por Camargos e Gonzalez (2001), o que permite classificar sua cor como oliva. De acordo com os autores, a cor terciária oliva é o resultado das cores preto, branco, amarelo.

Por meio da Tabela 33 observa-se a avaliação dos parâmetros colorimétricos e a classificação da cor das madeiras de Guajuvira, Angico-vermelho e Cinamomo. É possível observar que os parâmetros mensurados diferem ao nível de 1% de probabilidade entre as três espécies madeireiras, o que significa que cada madeira apresenta uma tonalidade diferente.

Tabela 33 – Avaliação dos parâmetros colorimétricos e classificação das cores das madeiras de Angico-vermelho, Guajuvira e Cinamomo anteriormente ao ensaio de campo

	L^*	a^*	b^*	C	H	Classificação da cor
Guajuvira	53,26 c	7,27 c	20,17 c	21,44 c	70,16 c	Oliva
Cinamomo	74,39 a	9,59 b	22,85 b	24,79 b	67,27 b	Amarelo-alaranjado
Angico-vermelho	67,55 b	11,92 a	24,79 a	27,52 a	64,27 a	Vermelho-alaranjado

Em que: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,01$).

As três espécies florestais estudadas apresentaram variação nos parâmetros colorimétricos após o ensaio de campo de apodrecimento. Verifica-se no Apêndice k a análise de variância fatorial para a variação da cor da madeira na seção radial. Houve diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade apenas para o fator espécie. Tanto o fator local quanto a interação entre espécie x local não apresentaram diferença significativa ($F= 0,3315$; $p \geq 0,05$; $F= 0,2080$; $p \geq 0,05$ respectivamente), pois não ocasionaram efeito sobre a variação da cor.

A maior variação da cor observa-se na madeira de Angico-vermelho e Cinamomo (Tabela 34) e a menor na Guajuvira, a qual apresentou menor redução de extrativos totais e lignina. Com relação ao fator local constatou-se que a variação da cor das madeiras avaliadas não diferiu significativamente entre as regiões experimentais, o que indica que o local não ocasionou efeito sobre a variação da cor.

Tabela 34 – Comparação múltipla de médias da variação da cor na seção radial da madeira das três espécies avaliadas em distintas regiões experimentais

Espécie	Varição da cor
Guajuvira	3,25 c
Angico-vermelho	5,80 a
Cinamomo	5,25 b

Em que: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,01$).

É possível observar nos Apêndices A, B e C o escurecimento da madeira na seção radial, com tendência ao cinza prateado. A maior alteração da cor ocorreu na área exposta quando comparada com a região de afloramento, e a área enterrada, devido à exposição direta da madeira sobre a radiação ultravioleta.

A Tabela 35 apresenta a variação da cor da madeira de Guajuvira, Angico-vermelho e Cinamomo durante o período do ensaio de campo em diferentes regiões experimentais,

Tabela 35 – Variação total da cor (ΔE) das madeiras submetidas ao ensaio de campo em diferentes regiões experimentais

Região Pelotas						
Avaliação	Guajuvira		Angico vermelho		Cinamomo	
	ΔE	Classificação ¹	ΔE	Classificação ¹	ΔE	Classificação ¹
1	2,868	Pouco notável	5,473	Notável	4,556	Notável
2	3,252	Notável	5,664	Notável	5,219	Notável
3	3,380	Notável	5,657	Notável	5,242	Notável
4	3,666	Notável	5,997	Notável	5,305	Notável
5	3,651	Notável	5,828	Notável	5,478	Notável
6	3,539	Notável	6,135	Muito notável	5,741	Notável
Região São Gabriel						
1	2,665	Pouco notável	5,677	Notável	4,509	Notável
2	3,331	Notável	5,905	Notável	5,280	Notável
3	3,433	Notável	6,191	Muito notável	5,698	Notável
4	3,434	Notável	5,328	Notável	5,284	Notável
5	3,364	Notável	5,776	Notável	5,534	Notável
6	3,214	Notável	5,989	Notável	5,548	Notável
Região Santa Maria						
1	2,354	Pouco notável	5,491	Notável	4,286	Notável
2	2,660	Pouco notável	5,414	Notável	4,698	Notável
3	3,109	Notável	6,095	Muito notável	6,267	Muito notável
4	3,542	Notável	5,925	Notável	5,557	Notável
5	3,393	Notável	5,729	Notável	4,883	Notável
6	3,704	Notável	6,141	Muito notável	5,461	Notável

Em que: ΔE = variação total da cor da madeira; Classificação¹= Classificação proposta por Cui et al. (2004)

Observa-se o aumento da variação da cor para as três espécies com o tempo de exposição à deterioração. A alteração da cor da madeira é ocasionada pela degradação fotoquímica promovida pela radiação ultravioleta, a qual atua principalmente sobre a lignina (OLIVEIRA et al., 1986).

Essa alteração nos parâmetros colorimétricos ocorreu devido à redução pela lixiviação de alguns extrativos presentes no cerne, responsáveis pela pigmentação da cor, pela incidência de radiação ultravioleta sobre a madeira ocasionando degradação da lignina, o que provocou a descoloração na área exposta das peças, já na área enterrada e na zona de afloramento a alteração colorimétrica ocorreu devido à umidade e temperatura do solo e principalmente em função da ação de microorganismos xilófagos que atuaram na degradação dos constituintes químicos, tornando a madeira mais escura e com manchas.

A análise fatorial do L^* , a^* e b^* para as três espécies florestais encontra-se nos Apêndices O, P e Q, respectivamente. O valor de L^* , a^* e b^* foram significativos ($F= 11$,

4318; $F= 4,2537$ e $F= 6,1835$; $p < 0,01$). Apenas o fator local analisado individualmente não ocasionou efeito sobre a luminosidade (L^*) ($F= 2,7478$; $p > 0,05$). O fator espécie e avaliação foram altamente significativos ($F= 210,267$ e $F= 14,9362$; $p < 0,01$), respectivamente. O L^* e b^* da madeira de Cinamomo diferiram da Guajuvira e Angico-vermelho. A comparação múltipla de médias entre o fator local, espécie e avaliação dos parâmetros colorimétricos na seção radial da madeira está descrita no Apêndice R, em que se observa a redução do L^* no decorrer as avaliações, o que confirma o escurecimento da cor da madeira.

A Tabelas 36 apresenta os resultados da alteração dos parâmetros colorimétricos da madeira de Angico-vermelho submetida ao ensaio de campo em distintas regiões experimentais.

A luminosidade (L^*) reduziu consideravelmente nos primeiros dias de exposição nos três locais, seguindo uma estabilização após a terceira avaliação. O mesmo ocorreu com as coordenadas cromáticas (a^* e b^*) nos primeiros sessenta dias de exposição às condições de deterioração, o que permite afirmar que a madeira apresentou escurecimento após o ensaio de campo de apodrecimento nos diferentes locais.

Verificou-se o decréscimo da coordenada a^* , o que indica a redução da pigmentação vermelha e o decréscimo da coordenada b^* levou a redução da pigmentação amarela, tornando a madeira com aparência desbotada. A cromática C^* (saturação ou cromaticidade) apresentou comportamento semelhante as cromáticas a^* e b^* em relação a função do tempo de exposição. Com a redução da cromaticidade (C^*), percebe-se que a cor da madeira tornou-se mais opaca.

Tabela 36 – Avaliação dos parâmetros colorimétricos da madeira de Angico-vermelho na face radial submetida ao ensaio de campo de apodrecimento em diferentes regiões experimentais

Pelotas					
Dias	L*	a*	b*	C*	h°
0	67,55	11,93	24,79	27,53	64,28
60	53,07	5,92	15,33	16,49	70,45
120	49,68	6,51	16,00	17,32	68,83
180	49,32	6,79	16,17	17,57	67,48
240	48,18	5,93	14,20	15,41	66,98
300	50,26	5,36	14,69	15,66	70,10
360	46,32	6,06	14,26	15,52	67,00
São Gabriel					
0	67,55	11,93	24,79	27,53	64,28
60	50,80	6,20	15,05	16,32	69,23
120	48,60	5,85	14,96	16,09	69,19
180	48,89	4,56	12,50	13,32	69,88
240	48,62	9,84	17,43	18,33	66,46
300	50,87	5,49	14,55	15,60	69,20
360	50,40	4,93	13,09	14,02	68,47
Santa Maria					
0	67,55	11,93	24,79	27,53	64,28
60	48,89	7,41	17,83	19,33	68,27
120	50,09	7,63	17,25	18,95	65,97
180	48,33	5,15	13,64	14,60	69,38
240	50,02	5,50	13,65	14,75	67,79
300	50,06	5,40	13,78	14,81	68,07
360	48,83	5,10	12,64	13,65	68,37

Em que: L*: luminosidade; a* e b*: coordenadas cromáticas; C*: opacidade; h°: ângulo de tinta.

A variável C* está associada à pureza da cor em relação ao branco e uma redução no seu valor indica a opacidade da cor (MATOS et al., 2014). A cromaticidade ou saturação corresponde ao desvio a partir do ponto equivalente ao cinza no eixo L*. Quanto mais distante do eixo, mais saturada (afastado da cor branco) é a cor. E o ângulo de tinta (h°) aumentou com o tempo de exposição.

Ao final da avaliação a madeira apresentou descoloração e adquiriu uma tendência ao cinza conforme os Apêndices A, B e C.

Os valores referentes às avaliações dos parâmetros colorimétricos da madeira de Cinamomo nas distintas regiões experimentais estão descritos na Tabela 37.

Tabela 37 – Avaliação dos parâmetros colorimétricos da madeira de Cinamomo submetida ao ensaio de campo de apodrecimento em diferentes regiões experimentais

Santa Maria					
Dias	L*	a*	b*	C*	h°
0	74,39	9,60	22,85	24,80	67,27
60	61,48	6,15	20,84	21,76	73,96
120	59,11	6,37	19,30	20,34	71,84
180	56,16	5,70	16,98	17,93	71,46
240	55,36	5,36	15,24	16,24	68,86
300	56,18	4,93	15,02	15,82	70,91
360	56,46	4,72	14,89	15,65	71,49
São Gabriel					
0	74,39	9,60	22,85	24,80	67,27
60	62,62	5,20	18,69	19,45	75,33
120	57,88	5,00	16,09	16,87	72,40
180	55,92	4,23	14,23	14,86	72,96
240	58,50	4,94	15,49	16,28	71,68
300	55,49	4,97	15,76	16,54	71,90
360	56,46	4,72	14,89	15,65	71,49
Pelotas					
0	74,39	9,60	22,85	24,80	67,27
60	62,47	5,60	18,01	18,90	73,39
120	57,37	5,26	16,98	17,78	72,60
180	57,50	5,65	16,22	17,19	70,53
240	56,91	5,75	16,05	17,08	69,76
300	53,92	5,59	17,33	18,23	71,86
360	52,17	6,15	15,57	16,74	68,43

Em que: L*: luminosidade; a* e b*: coordenadas cromáticas; C*: opacidade; h°: ângulo de tinta.

Foi possível observar a redução do L* (luminosidade) na madeira de Cinamomo tanto na seção radial quanto tangencial, o que indica o escurecimento da madeira. As coordenadas cromáticas a* e b* apresentaram um decréscimo assim como a saturação (C*), nas três regiões experimentais. O decréscimo de a* e b* indicam a redução da pigmentação vermelha e amarela, respectivamente seguida de descoloração. De acordo com Pastore et al. (2007), o decréscimo da coordenada a* pela ação do intemperismo reduz a concentração dos compostos cromóforos de cor vermelha. Já o ângulo de tinta apresentou uma elevação nas três regiões experimentais, com algumas variações na região de Pelotas.

Os pigmentos vermelho (+a*), verde (-a*), amarelo (+b*) e azul (-b*) são definidos pelas variáveis +a*, -a* e +b* e -b*, respectivamente. O ângulo de tinta expressa a tonalidade e deriva das coordenadas a* e b*. A cromaticidade ou saturação (C*) é influenciada pelos

parâmetros a^* e b^* , à medida que os dois parâmetros aumentam, a saturação aumenta (CAMARGOS & GONÇALEZ, 2001; MORAES & COSTA, 2006). Conforme a Figura 15 do Apêndice x observa-se que a madeira de Cinamomo apresentou ao final da última avaliação forte tendência a tonalidade cinza.

Verifica-se a redução da claridade (L^*) indicando o escurecimento da madeira tanto na seção radial quanto tangencial da madeira de Guajuvira (Tabela 38).

Tabela 38 – Média dos parâmetros colorimétricos da madeira de Guajuvira submetida ao ensaio de campo

Dias	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
São Gabriel					
0	53,26	7,27	20,17	21,45	70,16
60	53,07	4,56	15,97	16,71	75,94
120	49,05	5,21	15,35	16,27	72,05
180	50,94	4,19	13,79	14,45	73,04
240	50,53	4,53	13,85	14,62	71,81
300	50,74	4,46	14,18	14,90	72,25
360	50,98	4,94	14,45	15,33	70,99
Santa Maria					
0	53,26	7,27	20,17	21,45	70,16
60	49,19	6,97	19,01	20,32	70,56
120	49,20	6,82	17,62	19,08	67,81
180	48,94	6,08	16,03	17,19	69,27
240	48,63	5,44	14,09	15,19	69,00
300	48,45	4,50	13,34	14,09	71,30
360	47,82	5,54	13,63	14,82	66,34
Pelotas					
0	53,26	7,27	20,17	21,45	70,16
60	51,70	5,50	15,28	16,32	71,44
120	49,47	5,64	15,02	16,08	69,81
180	48,13	5,63	15,51	16,53	70,45
240	47,52	5,50	14,25	15,30	69,23
300	48,18	4,99	14,20	15,08	70,62
360	47,10	5,84	15,24	16,34	69,31

Em que: L^* : luminosidade; a^* e b^* : coordenadas cromáticas; C^* : opacidade; h° : ângulo de tinta.

O ângulo de tinta sofreu uma pequena redução, o que permite afirmar que a madeira apresentou tonalidade escura. As coordenadas cromáticas a^* e b^* apresentaram um decréscimo em seus valores, implicando na redução da pigmentação vermelha e amarela,

respectivamente. Entretanto foi possível observar a descoloração da madeira ao final das avaliações.

A degradação da madeira pela ação do intemperismo, agentes xilófagos e pela radiação ultravioleta provocou a descoloração nas três espécies de madeiras estudadas, com maior intensidade nos primeiros dois meses de exposição e a partir da terceira avaliação (120 dias) apresentou uma tendência estável na variação dos parâmetros colorimétricos nas três regiões experimentais. A radiação ultravioleta e a precipitação são os principais responsáveis pela degradação da madeira exposta ao intemperismo, uma vez que provocam a decomposição dos componentes estruturais além da remoção dos extrativos responsáveis pela pigmentação da cor.

4.10 ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO EM LABORATÓRIO

Observa-se a análise de variância fatorial (Tabela 39) para a perda de massa das madeiras de Cinamomo, Guajuvira e Angico-vermelho submetidas ao ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório. Constatou-se que os fatores espécie e fungo foram altamente significativos ($F= 8,7006$; $p < 0,01$; $F= 42,1329$; $p < 0,01$), respectivamente. Quanto à interação entre madeira x fungo apodrecedor também apresentou diferença significativa que ($F=7,8581$; $p < 0,01$).

Tabela 39 – Análise de variância fatorial da perda de massa da madeira de Cinamomo, Angico-vermelho e Guajuvira submetidas ao ensaio de apodrecimento acelerado

FV	GL	SQ	QM	F
Espécie	2	172,54550	86,27275	8,7006 **
Fungos	1	417,77602	417,77602	42,1329 **
Madeira x fungo	2	155,83730	77,91865	7,8581 **
Tratamentos	5	746,15882	149,23176	15,0501 **
Resíduo	18	178,48214	9,91567	
Total	23	924,64096		

Em que: ** significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro ($p < .01$) * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$) ns não significativo ($p \geq .05$) SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; F: estatística F

A Tabela 40 apresenta a comparação múltipla de médias para a perda de massa em função dos fungos apodrecedores. Em relação as espécies florestais, a madeira de Cinamomo apresentou maior porcentagem de perda de massa quanto a presença das duas espécies fúngicas. A madeira de Angico-vermelho apresentou menor perda de massa provocada tanto pelos fungos de podridão branca quanto parda.

Tabela 40 – Teste múltiplo de médias da perda de massa para o fator espécie e fungo

Espécie	PM (%)
Cinamomo	12,74 a
Guajuvira	9,69 ab
Angico-vermelho	6,18 b
Fungo	PM (%)
<i>Pycnoporus sanguineus</i>	13,71 a
<i>Gloephyllum trabeum</i>	5,37 b

Em que: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,01$).

Quanto aos fungos apodrecedores, observa-se que ocasionaram efeito significativo sobre a perda de massa para as três espécies florestais, com maior destaque para o *P. sanguineus* (podridão branca), pois essa espécie fúngica apresentou rápido crescimento em comparação com *G. trabeum* proporcionando um ataque mais intenso quando comparado com a podridão parda. O *G. trabeum* apresenta períodos de repouso durante seu crescimento, o que torna seu desenvolvimento lento (EATON & HALE, 1993).

Verificou-se que as madeiras avaliadas não foram totalmente colonizadas pelo fungo responsável pela podridão parda, possivelmente devido a determinados extrativos de caráter fenólico e presentes na composição química das mesmas inibiram o crescimento deste fungo, que tem maior preferência alimentar pela celulose.

As médias percentuais da perda de massa das madeiras avaliadas após o ensaio de apodrecimento acelerado com os fungos *P. sanguineus* (podridão branca) e *G. trabeum* (podridão parda) estão descritas na Tabela 41.

Tabela 41 – Porcentagem média de perda de massa das madeiras submetidas ao ensaio de apodrecimento acelerado e classificação de acordo com a Norma ASTM D 2017 (1994)

	Perda de massa (%)			
	<i>Pycnoporus sanguineus</i>		<i>Gloeophyllum trabeum</i>	
Guajuvira	10,27	AR	7,74	AR
Cinamomo	19,95	R	9,74	AR
Angico-vermelho	9,81	AR	2,17	AR

Em que: NR = não-resistente; MR = moderadamente resistente; R = resistente; AR = altamente resistente.

Os extrativos influenciam na resistência natural da madeira, podendo inibir ou acelerar a deterioração dos constituintes de alto peso molecular. De acordo com Oliveira (1986), a presença de taninos e outras substâncias fenólicas complexas, presentes na madeira, atribuem a mesma resistência à deterioração, uma vez que essas substâncias são tóxicas a determinados fungos xilófagos. A madeira de Angico-vermelho (15% de extrativos totais) apresentou menor porcentagem de perda de massa em comparação com a Guajuvira (10,88 % de extrativos totais) e Cinamomo (2,30 % de extrativos totais) quanto à presença de *P. sanguineus* e *G. trabeum*, o que torna evidente a influência dos extrativos sobre a resistência natural da madeira e permite afirmar que as substâncias presentes no cerne da madeira de *P. rigida* apresentam alta toxicidade aos fungos xilófagos e inibiram sua ação.

As três espécies florestais apresentaram-se altamente resistentes quando submetidas à presença do *G. trabeum*. Quanto à ação do *P. sanguineus*, apenas a madeira de Cinamomo não foi altamente resistente, sendo a madeira com maior porcentagem de perda de massa obtida, tanto pela podridão branca quanto parda.

Os fungos responsáveis pela podridão parda degradam com maior intensidade a celulose, deixando a madeira com manchas escuras. De acordo com Curling et al. (2001), os fungos de podridão parda são responsáveis por degradar polissacarídeos, principalmente na subcamada S2, onde a concentração de lignina é menor que nas subcamadas S1 e S3, tornando os polissacarídeos mais suscetíveis a deterioração. Enquanto que os fungos de podridão branca atuam mais sobre a degradação da lignina, resultando na coloração esbranquiçada da madeira, deixando-a quebradiça.

A menor porcentagem de perda de massa foi causada pelo fungo de podridão parda (*G. trabeum*). Vivian (2012), avaliou a resistência natural da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* submetidas à presença de *Trametes versicolor* (podridão branca) e *Gloeophyllum trabeum* (podridão parda) e constatou que a menor porcentagem de perda de

massa foi provocada pelo *Gloeophyllum trabeum*. Melo e Paes. (2006), afirmam que os fungos apodrecedores atacam a madeira com diferentes intensidades. Os autores afirmam que existe uma relação diretamente proporcional entre a densidade e a resistência natural da madeira aos fungos apodrecedores, sendo as florestais com maior densidade as mais resistentes.

O nível de desgaste provocado pelos fungos apodrecedores depende da espécie florestal que está sendo avaliada, principalmente da sua constituição química. Também das enzimas produzidas pelos fungos responsáveis pela degradação dos componentes estruturais da madeira e das características físicas da mesma como pH e teor de umidade, pois esses são fatores importantes para o desenvolvimento dos fungos.

A diferença de resistência natural entre as espécies florestais em relação aos fungos *P. sanguineus* e *G. trabeum*, foi mais marcante para a madeira de Cinamomo. Essa espécie apresentou uma perda de massa de 19,95% quando submetida ao ataque do fungo de podridão branca e de 9,74% quando submetida ao fungo de podridão parda, sendo a espécie com menor percentual de extrativos totais e menor densidade quando comparada a madeira de Guajuvira e Angico vermelho.

Após o ataque fúngico observou-se alteração na cor natural da madeira devido à degradação da celulose, hemicelulose e lignina. A podridão branca deixou a madeira com manchas esbranquiçadas contornadas com linhas escuras, já a podridão parda provocou manchas escuras, deixando a madeira com aspecto de queimado, uma vez que esses fungos atuam mais intensamente sobre a celulose e hemicelulose, enquanto que os primeiros apresentam maior preferência em degradar lignina.

A madeira de Guajuvira e Angico-vermelho submetidas ao ensaio de campo de apodrecimento e ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório mostraram-se mais resistentes às intempéries e à presença de micro-organismos xilófagos e fungos apodrecedores, com menor perda de massa, menor redução na massa específica e consequentemente menor redução nas propriedades mecânicas em relação ao Cinamomo. Dessa forma apresentaram melhor potencialidade para utilização nas três áreas experimentais sob condições adversas e em contato direto com o solo.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados do presente estudo para as madeiras de Guajuvira, Angico-vermelho e Cinamomo:

- A menor porcentagem de perda de massa após o ensaio de campo de apodrecimento foi registrada para as madeiras de Guajuvira e Angico-vermelho. São Gabriel e Santa Maria foram os locais onde a madeira apresentou menor porcentagem de perda de massa.

- A espécie que apresentou maior resistência mecânica foi a Guajuvira seguida de Angico-vermelho. Em relação ao local, a área experimental de Santa Maria, seguida de São Gabriel foi onde as madeiras estudadas apresentaram melhor resistência mecânica.

- A madeira de Angico-vermelho e Guajuvira apresentaram menor perda percentual de massa provocada pela ação das duas espécies fúngicas, sendo classificadas como altamente resistentes quanto à presença de fungos apodrecedores e a madeira de Cinamomo foi classificada como resistente quanto à presença do fungo *P. sanguineus* e altamente resistente ao *G. trabeum*.

- Por meio dos parâmetros avaliados entre as três espécies florestais submetidas às condições de deterioração em distintas regiões, foi possível concluir que as madeiras de Guajuvira e Angico-vermelho apresentaram melhores propriedades tecnológicas, possuindo excelente potencialidade de utilização quando expostas às condições de intemperismo e em contato direto com o solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acid-insoluble lignin in wood and pulp - TAPPI 222 om-98. In: (Ed.). **Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Test Methods 2000-2001**. Atlanta, USA, 1998.
- ALMEIDA, V. C. **Avaliação do potencial de uso de resíduos de madeira tropical para produção de painéis colados lateralmente**. 2013. 123 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- AMORIM, P. G.; GONÇALEZ, J. C.; CAMARGOS, J. A. A. Propriedades da madeira de *Pinus caribaea* e *Eucalyptus grandis* estimadas por colorimetria. *Cerne*, Lavras, v. 19, n. 3, p. 461-466, jul./set. 2013.
- ARAÚJO, E. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. *FLORESTA*, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, set./dez. 2007.
- ASTM. American Society for Testing and Materials. **Standard Test Method of Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance of Woods** ASTM D2017 - 05, 1994.
- ASTM. American Society for Testing and Materials. **Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber**: ASTM D143-94. West Conshohocken: 2000.
- ATAYDE. C. M.; GONÇALEZ. J. C.; CAMARGOS. J. A. Características Colorimétricas entre as Seções Anatômicas da Madeira de Muirapirapiranga (*Brosimum* sp.). *Cerne*, Lavras, v. 17, n. 2, p. 231-235, abr./jun. 2011.
- AUTRAN, C. S.; GONÇALES, J. C. Caracterização colorimétrica da madeiras de Muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.) e de Seringueira (*Hevea brasiliensis*, clone Tjir 16 Müll Arg.) à utilização em interiores. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 4, p. 445-451, 2006.
- BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores Cultivadas no Sul do Brasil**. 1. ed. Porto Alegre, 2004. 204 p.
- BELGACEM. M. N.; GANDINI, A. **Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources**. 2008.
- BIERMANN, C. J. **Handbook of Pulping and Papermaking**. 2. ed. San Diego: Academic Press Inc., 1996.
- BOBADILLA, E. A. **Durabilidad natural de la madera de cinco espécies aptas para la industria de la construcción**. 2004, 118 p. (Maestria em Tecnologia de Madeira, Celulosa y Papel) Universidad Nacional de Misiones, Misiones, 2004.
- CABEL, S. R. **Micropopagação do Cinamomo (*Melia azedarach* L.)** 2006. 96 p. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores da madeira. **Brasil Florestal**, Brasília, n. 71, p. 30-41. set. 2001.

- CAMPOS, A. D.; SILVEIRA, E. M. L. Circular técnica. Metodologia para determinação da peroxidase e da polifenol oxidase em plantas. Pelotas- RS. Abril, 2003.
- CARNEIRO, J. S. et al. Decay susceptibility of Amazon wood species from Brazil against white rot and brown rot decay fungi. **Holzforschung**, Berlin, v. 63, n. 6, p. 767-772, jun. 2009.
- CARNEIRO, S. M. T. P. G.; PIGNONI, E.; GOMES, J. C. Efeito do nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) no controle da mancha angular do feijoeiro. **Rev. Bras. Pl. Med.**, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 6-10, 2008.
- CARVALHO, P. E. **Angico - Guruceia**. Circular Técnica EMBRAPA. Colombo, 2002.
- CARVALHO, P. E. R. **M. azedarach**. Instrução Técnica EMBRAPA. Colombo, 1999.
- CARVALHO, P. R. **Circular técnica**. Guajuvira - *Patagonula americana*. Colombo – PR. Dezembro, 2004.
- CARVALHO, W. et al. Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. **Química Nova**, v. 32, n. 8, p. 2191-2195, 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.
- COLENCI, R. A. **Desenvolvimento de equipamento para avaliação em campo da dureza de madeiras para dormente ferroviário**. 2006. 83 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.
- COSTA, A. F. **Utilização de interações entre produtos químicos preservantes no desenvolvimento de formulações para a prevenção de fungos manchadores e emboloradores na madeira**. 1999. 103 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.
- COSTA, J.A et al. Fotodegradação de Duas Espécies de Madeiras Tropicais: Jatobá (*Hymenaea courbaril*) e Tauari (*Couratari oblongifolia*) Submetidas à Radiação Ultravioleta. **Cerne**, v. 17, n. 1, p. 133-139, 2010.
- CUI, W.; KAMDEM, D. P.; RYSPTRA, T. Diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFT) and color changes of artificial weathered wood. **Wood and Fiber Science**, v.46, p.289-290, 2004.
- CURLING, S.; CLAUSEN, C. A.; WINANDY, J. E. The effect of hemicellulose degradation on the mechanical properties of wood during brown rot decay. In: The International Research Group on Wood Preservation; Section 2, Test methodology and assessment; IRG/WP 01-20219, 32., 2001, Nara, Japan. Proceedings... Nara: IRG, 2001. 10p.
- DE PAULA, J. E. Estudos das estruturas internas das madeiras de dezesseis espécies da flora brasileira, visando seu aproveitamento para a produção de álcool, carvão, coque e papel. **Brasil Florestal**, Brasília, DF, v. 11, n. 47, p. 23-50, 1981.

DEMORI, L. M. **Madeira. Maringá:** Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil, 2009, 15p.

EATON, R. A.; HALE, M. D. C. *Wood: decay, pests and protection.* London: Chapman & Hall, 1993. 546 p.

EMBRAPA. **Embrapa clima temperado – dados meteorológicos.** Pelotas, 2015. Disponível em: http://agromet.cpact.embrapa.br/online/Current_Monitor.htm. Acesso em: 12 de agosto de 2015.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.

FEIST, W. C.; HON, D. N. S. Chemistry of weathering e protection. In: ROWELL, R. M. **The chemistry of solid wood.** Washington D.C.: American Chemical Society, 1984. p. 401-454.

FUZETO, P. A. **Determinação do teor de lignina em amostras vegetais através de três métodos analíticos e correlação com digestibilidade *in vitro*.** 2003 p .Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária - Nutrição animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo). Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2003.

GOMES, J. I.; FERREIRA, G. C. Durabilidade Natural de Quatro Madeiras Amazônicas em Contato com o Solo. Belém, Ministério da Agricultura (**Comunicado técnico nº 66**), 2002.

GONÇALEZ, J. C.; MACEDO, D. G. Colorimetria aplicada à madeira de eucalipto. In: Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto, 2, Belo Horizonte-MG. **Anais...**, Belo Horizonte: SIF, 2003. CD-ROOM.

GONÇALVES, F. G et al. Durabilidade Natural de Espécies Florestais Madeireiras ao Ataque de Cupim de Madeira Seca. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 110-116. 2013

GONZÁLEZ, H. D. M. **Estudos da degradação fotoquímica e enzimática de ligninas.** 1986 p 119. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1986.

HELLMEISTER, J. C. Sobre a determinação das características físicas da madeira. São Carlos, 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1973.

HON, D. N. S. **Wood and cellulosic chemistry;** hon, D.N.-S.; Shiraishi, N., eds.; marcel Dekker: New york, 2001.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia.** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 15 de agosto de 2015.

IPEF. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. **Identificação de espécies florestais.** Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/nativas/detalhes.asp?codigo=35>>. Acesso em: 12/01/2013.

IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Biodeterioração da madeira em edificações**. São Paulo, 2001.

ITTO. 2009. **Sustaining Tropical Forests**. Annual Report. (www.itto.int).

JANKOWSKY, I. P et al. Madeiras brasileiras. Caxias do Sul: Spectrum, 172 p. 1990.

JESUS, M. A.; ABREU, R. L. S. Durabilidade natural da madeira de Pupunha (*Bactris gasipaes* KUNTH). I. Fungos. Acta Amazônica, p. 663-675. 2002.

KIRK, T. K.; FARREL, R. 1987. Enzymatic “combustion”: the microbial degradation of lignin. Ann. Rev. Microbiol., v. 41, p. 465-505.

KLOCK, U et al. Química da madeira. 3. ed. Curitiba: FUPEF, 2005. 86p.

KONICA MINOLTA SENSING Inc. Comunicação precisa da cor. 1998. 57 p.

KUBICEK, C. P et al. **Metabolic engineering strategies for the improvement of cellulose production by *Hypocrea jecorina***. Biotechnology for Biofuels, v. 2, n. 19, p. 2009.

LEPAGE, E. S. Método padrão sugerido pela IUFRO para ensaios de campo com estacas de madeira. **Preservação de Madeiras**, São Paulo, v. 1, n. 4, p. 205-216. 1970.

LEPAGE, E. S. Preservativos e sistemas preservativos. In: LEPAGE, E. S. (Coord.). **Manual de Preservação de Madeiras**. São Paulo: IPT, v. 1. p. 279-342, 1986.

LOPES, J. O. **Uniformidade e estabilidade da cor da madeira termorretrificada de *Tectona grandis* L.** 2012. 83 p. Dissertação (Mestre em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ. 2012.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**. São Paulo. Ed. Plantarum, v. 1. 2002.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. Fichas de Características Das Madeiras Brasileiras. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológicas, 1989. (Publicações IPT, 1791).

MARTINS, S. A et al. Envelhecimento Artificial Acelerado por Radiação Ultravioleta de Madeiras de *Eucalyptus benthamii* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. FLORESTA, Curitiba, PR, v. 41, n. 1, p. 87-96, jan./mar. 2010.

MATOS, R. B. **Características qualitativas e possibilidade de ganho de fuste em espécies euxilóforas nativas da região central do Rio Grande do Sul**. 2002 p 106. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal –Manejo Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2002.

MATTOS, B. D et al. Colour changes of Brazilian eucalypts wood by natural weathering. **International Wood Products Journal**, v. 5, 33-38 p, 2014.

MELO, R. R et al. Durabilidade da madeira de três espécies florestais em ensaios de campo. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 357-365, 2010.

MELO, R. R.; PAES, J. B. **Resistência Natural de quatro Madeiras do Semi-Árido Brasileiro a Fungos Xilófagos em Condições de Laboratório**. Caatinga (Mossoró, Brasil), v. 19, n. 2, p. 169-175, abril/junho 2006.

MENDES, A de S.; ALVES, M. V da S. **A Degradação da Madeira e sua Preservação**. Brasília: IBDF/DPq-LPF, 5-53 p, 1988.

MORAIS. F. M.; COSTA. A. F. **Alteração da cor aparente de madeiras submetida ao ataque de fungos apodrecedores**. R. Brasileira de Ciências agrárias, v. 2, n. 1, p. 44-50, 2007. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119017336008>.

MORAIS. S. A. L.; NASCIMENTO. E. A.; MELO. D. C. **Análise da Madeira de *Pinus oocarpa* PARTE II- Caracterização Estrutural da Lignina de Madeira Moída**. R. Árvore, Viçosa-MG, v. 29, n. 3, p. 471-478, 2005.

MORESCHI, J. C. **Biodegradação e Preservação da Madeira**. Curitiba: UFPR. 4 p, 2013.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da Madeira**. Curitiba: UFPR. 177 p, 2010.

MOREY, P. **O crescimento das árvores**. São Paulo: E.P.U, 1980. 72 p.

MORI, C et al. **Potencial da madeira de angico-vermelho para móveis**. Revista da Madeira, edição Nº 108. UFLA, Lavras - MG. Outubro, 2007.

MORI, C. L. S. O et al. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. Cerne, Lavras, v. 11, n. 2, p. 137-146, abr./jun. 2005.

MORI, C. L. S. O et al. **Colorimetria aplicada a determinação da cor da madeira de *Eucalyptus* spp**. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 9, Cuiabá, 2004. Anais. Mato Grosso: SECOM, 2004. CD-ROOM.

MORSELLI, T. B. G. A. **Biologia do solo**. Ed. Universitária UFPEL/PREC, 2009. 140 p.

MUÑIZ, G. I. B.; MARCHIORI, J. N. Anatomia da madeira de duas Leguminosas Mimosideas da Floresta Estacional de Misiones – Argentina. Balduínia. n. 17, p. 23-28,15-VI-2009.

OLIVEIRA, A. M. F et al. Agentes destruidores da madeira. In: LEPAGE, E. S. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v. 1, p. 99-278.

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

PAES, J. B. et al. Efeitos da purificação e do enriquecimento do creosoto vegetal na preservação da madeira de *Eucalyptus grandis*, após 48 meses de instalação do ensaio de campo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.4, p.475-484, 2002.

PAINEL FLORESTAL. <http://www.painelflorestal.com.br/noticias/mercado/producao-da-industria-da-madeira-no-brasil-cresceu-30-nos-ultimos-5-anos>. Acesso em: 22/11/2015.

PASTORE, T. C. M. **Estudo do Efeito da Radiação Ultravioleta em Madeiras por Espectroscopia RAMAN (FT-RAMAN), de Refletância Difusa no Infravermelho (DRIFT) e no Visível (CIE-L*a*b*)**. 2004. 131 p. Universidade de Brasília, Brasília. Tese (Doutorado em Química Analítica). 2004.

PASTORE, T. C. M; OLIVEIRA, C. C. K; RUBIM, J. C; SANTOS, K. O. Efeito do Intemperismo Artificial em Quatro Madeiras Tropicais Monitorado por Espectroscopia de infravermelho (DRIFT). *Quím. Nova*. v. 31 n. 8, São Paulo. 2008.

PHILIPP, P.; D' ALMEIDA, M. L. O. *Celulose e Papel Volume I. Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica*. Instituto de Pesquisas Tecnológica do Estado de São Paulo- Centro Técnico em Celulose e Papel. São Paulo, 1988, Segunda edição.

RAMOS, S. I. N. **Caracterização das propriedades mecânicas e durabilidade biológica da madeira de *Quercus faginea***. 2009, 108 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

RAPPOLD, P. M.; SMITH, W. B. An investigation of the relationships between harvest season, log age, and drying schedule on the coloration of hard maple lumber. *Forest Products Journal*. v. 54. n. 12. p. 178-184. dez. 2004.

RICHTER, H. G.; DALLWITZ, M. J. **Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval**. 2009. Disponível em: <<http://delta-intkey.com/wood/pt/www/borpaame.htm>>. Acesso em: 18/09/2013.

ROMANINI, A et al. Durabilidade natural da Madeira de quatro espécies Amazônicas em ensaio de deterioração de campo. *Nativa, Sinop*, v. 02, n. 01, p. 13-17, jan./mar. 2014.

ROWELL, R. M. **Wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC Press, 2005. 473 p.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do Cerrado**. 2008, 178 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade De Brasília, Brasília, 2008.

SCHUMACHER, M. V et al. **Silvicultura Aplicada**. UFSM. Santa Maria, 1-120 p, 2005. (APOSTILA).

SILVA, L. V. **Caracterização de ligninas de *Eucalyptus* spp. pela técnica de pirólise associada a cromatografia gasosa e à espectrometria de massa**. 2006 p 68. Dissertação (Mestrado em Agroquímica). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG,2006.

SILVÉRIO, F. O et al. Metodologia de extração e determinação do teor de extrativos em madeiras de eucalipto. *R. Árvore, Viçosa-MG*, v. 30, n. 6, p. 1009-1016, 2006.

SIMÕES, C. M. O et al. *Farmacognosia, da planta ao medicamento*. Porto Alegre: editora UFRGS, 2007. 1104p.

SIMÕES, C. M. O et al. Plantas da medicina popular no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Ed. Universidade / UFRGS, 1998. 173p.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**. 2. ed. New York: Academic Press, 1993. 293p.

Standard practice for sampling forest trees for determination of clear wood properties: D5536 - 94. In: (Ed.). **Annual Book of ASTM Standart**. West Conshohocken, 2010.

STANGERLIN, D. M. **Monitoramento das Propriedades de Madeiras da Amazônia Submetidas ao ataque de Fungos Apodrecedores**. 2012. 259 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

TAPPI. Solvent extractives of wood and pulp - TAPPI T 204 cm-97. In: (Ed.). **Technical Association of the Pulp and Paper Industry** Atlanta, USA, 1997.

TREVISAN, H. **Degradação Natural de Toras e sua Influência nas Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira de Cinco Espécies Florestais**. 2006, 21 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.

TREVISAN, H.; TIEPPO, F. M.; CARVALHO, A. G. Degradação Natural de Toras de Cinco Espécies Florestais em Dois Ambientes. *FLORESTA*, Curitiba, PR, v. 38, n. 1, jan./mar. 33-41 p, 2007.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010, 262 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal - Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010.

TSOUMIS, G. Science and technology of wood: Structure, properties, utilization. New York: Chapman & Hall, 1991.

VIVIAN, M. A. **Resistência biológica da madeira tratada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* em ensaios de laboratório e campo**. 2011, 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal - Tecnologia de Produtos Florestais). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

WASJUTIN, K. Dendrologia e chave prática para a identificação das principais árvores latifoliadas indígenas na Fazenda Monte Alegre, PR. Telemaco Borba: Klabin do Paraná, 1958. 105p. Mimeografado.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ASPECTO DA MADEIRA DE *P. rigida* SUBMETIDA AO ENSAIO DE CAMPO DE APODRECIMENTO EM REGIÕES EXPERIMENTAIS



APÊNDICE B – SEXTA AVALIAÇÃO DA MADEIRA DE *M. azedarach* SUBMETIDA AO ENSAIO DE CAMPO DE APODRECIMENTO NAS REGIÕES EXPERIMENTAIS DE SANTA MARIA (1), SÃO GABRIEL (2) E PELOTAS (3)



APÊNDICE C- SEXTA AVALIAÇÃO DA MADEIRA DE *C. americana* SUBMETIDA AO ENSAIO DE CAMPO DE APODRECIMENTO NAS REGIÕES EXPERIMENTAIS DE SANTA MARIA (1), SÃO GABRIEL (2) E PELOTAS (3)



APÊNDICE D – ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO EM LABORATÓRIO

