

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

**DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA DE  
*Tetrorchidium rubrivenium* EM ENSAIOS DE CAMPO  
E DE LABORATÓRIO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Priscilla Maia Baggio**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

# **DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA DE *Tetrorchidium rubrivenium* EM ENSAIOS DE CAMPO E DE LABORATÓRIO**

**Priscilla Maia Baggio**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal.**

**Orientador: Prof. Elio José Santini**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

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

Maia Baggio, Priscilla  
DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA DE *Tetrorchidium*  
*rubrivenium* EM ENSAIOS DE CAMPO E DE LABORATÓRIO /  
Priscilla Maia Baggio.-2014.  
64 p.; 30cm

Orientador: Elio José Santini  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2014

1. Organismos xilófagos 2. Deterioração 3. Colorimetria  
I. José Santini, Elio II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado**

**DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA DE *Tetrorchidium  
rubrivenium* EM ENSAIOS DE CAMPO E DE LABORATÓRIO**

elaborada por  
**Priscilla Maia Baggio**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Elio José Santini, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Darci Alberto Gatto, Dr. (UFPEL)**

**Silviana Rosso, Dra. (UNIPAMPA)**

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2014.

Dedico

A DEUS, pela oportunidade da vida,

A minha família, que é meu exemplo de vida e meu porto  
seguro,

Ao meu noivo Lucas, pelo amor e dedicação em todas as  
horas.

## AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos começam com a amiga e colega Engenheira Florestal Rosana Guma, que confiou a mim parte do seu material de pesquisa, para que pudéssemos dar continuidade à pesquisa científica desta espécie;

Agradeço ao meu orientador Elio José Santini pela oportunidade, orientação e principalmente confiança nesses dois anos de convivência;

Ao laboratório da UFPEL, Professor Darci e toda sua equipe, que me acolheram e apoiaram na realização dos testes, agradecimento em especial a Sabrina Finatto que não mediu esforços em me ajudar em várias etapas deste projeto;

As minhas amigas de longa data, Leticia Togny, Bruna Vasconcellos e Natália Valentim, pela amizade, companheirismo e ajuda nesta etapa,

A minha prima e Engenheira Florestal, Fabiane Baggio, pela amizade, por me escutar e pelos retoques finais deste trabalho;

Aos colegas de laboratório: Walmir Menezes, Bibiana Argenta, Felipe Susin, Michéle dos Santos, Danilo Freitas, Douglas Carvalho, André Missio, Vania Karine Wille, Manoela Duarte, Anderson Pertuzzatti pelo convívio durante estes dois anos.

Obrigada em especial aos funcionários da universidade:  
Jorge, Tarso, Fabiana, Nelson, Tita e Rone.

Ao meu melhor amigo, meu amor e colega de trabalho Lucas Kosvoski de Ourique, por sempre me dizer sim e não medir esforços para que tudo desse certo.

E por fim a minha família, meus grandes heróis, meu pai Telmo Baggio e minha mãe Tania Maia Baggio por acreditarem em mim e me apoiarem em todas as minhas decisões, e;

Minhas lindas irmãs, Luana Maia Baggio e minha pequena Isadora Maia Baggio pelo amor, carinho e palavras de conforto!

Obrigada a todos que de uma forma ou outra participaram dessa fase importante em minha vida!

Obrigada!

"Eu vejo um novo começo de era  
De gente fina, elegante e sincera  
Com habilidade pra dizer mais sim do que não..."

(Lulu Santos)



## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria

### **DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA DE *Tetrorchidium rubrivenium* EM ENSAIOS DE CAMPO E DE LABORATÓRIO**

AUTORA: PRISCILLA MAIA BAGGIO

ORIENTADOR: ELIO JOSÉ SANTINI

Data e local da defesa: Santa Maria, 28 de fevereiro de 2014.

A madeira passa ao longo do tempo por um processo em que acontece aos poucos a perda de suas propriedades (mecânicas, físicas ou químicas) em um gradativo estado de apodrecimento. Este fato é potencializado pela ação de organismos xilófagos que em condições favoráveis de intempéries, como chuvas, ventos, entre outros corrompem com a qualidade da madeira. A presente pesquisa teve por objetivo avaliar a durabilidade natural da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* Poeppig & Endlicher (Canemaçu) sob a ação de organismos biodeterioradores, em ensaios de campo e de laboratório, analisando duas regiões da madeira, região próxima a casca e região próxima a medula. A madeira utilizada para a realização deste trabalho foi obtida de cinco árvores de Canemaçu. Foi analisada a massa específica aparente para as duas regiões da madeira estudadas. Para o ensaio em laboratório foi seguido à norma ASTM D 2017 (ASTM, 2005) com modificação nos corpos de prova para 2,0 x 2,0 x 0,9 cm, onde foram serrados de peças da região próxima a casca e da região próxima a medula das mesmas amostras confeccionadas para ensaio de campo com dimensões de 2,0 x 2,0 x 30 cm. Foram analisados para ensaios de laboratório e campo: perda de massa e colorimetria, e para o ensaio de campo: índice de comportamento, flexão estática (MOE e MOR) e solubilidade em hidróxido de sódio. Para a massa específica aparente a 12% de umidade obteve-se para região próxima a casca 0,483g/cm<sup>3</sup> e região próxima a medula 0,424g/cm<sup>3</sup>, onde apresentou diferença estatística. A perda de massa sofrida em ensaio de laboratório para a podridão parda foi parecida nas duas regiões com uma média de 33%, já para podridão branca os resultados foram distintos, com na região próxima a casca 23,35 % e região próximo a medula 36,57%. Os parâmetros colorimétricos L\*, a\* e b\* apresentaram valores significativamente distintos em função do ataque dos fungos de podridão parda e podridão branca em ensaio de laboratório. Em ensaio de campo as amostras instaladas no campo aberto apresentaram a tendência de maiores perdas de massa em relação às amostras da floresta. O Índice de deterioração foi reduzindo-se com o decorrer do tempo de exposição ao ambiente. O MOE e o MOR foram sendo reduzidos com o passar do tempo, porém com períodos de oscilação. Para os valores obtidos na solubilidade em hidróxido de sódio 1% observou-se que foram decaindo conforme aumenta o tempo em exposição a campo de apodrecimento. Todas as amostras de madeira expostas ao desgaste natural demonstraram uma redução do parâmetro b\*, ocasionando o escurecimento das amostras. Comparando-se os resultados obtidos nos testes de laboratório e de campo para ambas as regiões da madeira analisadas, conclui-se que ambas não apresentam condições de serem expostas em contato com o solo.

**Palavras-chave:** Organismos xilófagos. Deterioração. Colorimetria.

## ABSTRACT

Master's Thesis  
Master's Degree Program in Forest Engineering  
Santa Maria Federal University

### **NATURAL DURABILITY OF WOOD *Tetrorchidium rubrivenium* tested in FIELD AND LABORATORY**

AUTHOR: PRISCILLA MAIA BAGGIO

ADVISOR: ELIO JOSÉ SANTINI

Date and place of defense: Santa Maria, February 28<sup>th</sup> 2014

The wood over time passes through a process natural what that gradually losing their (mechanical, physical or chemical) properties in a gradual state of decay. This fact is compounded by the action of wood-destroying organisms that under favorable weather conditions such as rain, wind, damage with the quality of the wood. The present study aimed to evaluate the natural durability of wood *Tetrorchidium rubrivenium* Poeppig & Endlicher (Canemaçu) under the action of deteriorative organisms in field tests and laboratory analyzing two regions of wood, peripheral region and central region. The wood used for this work were obtained from five trees Canemaçu. We analyzed the apparent specific gravity for the two regions studied wood. For the laboratory test was followed to ASTM D 2017 (ASTM, 2005) with modification in the specimens to 2.0 x 2.0 x 0.9 cm, which were sawn parts of the peripheral region and the central region of same samples prepared for testing field with dimensions of 2.0 x 2.0 x 30. Were analyzed for laboratory testing and field: mass loss and colorimetry and the field test: index behavior, static bending (MOR and MOE) and solubility in sodium hydroxide. For mass density at 12% moisture was obtained for peripheral region 0.483 g / cm<sup>3</sup> and central 0.424 g / cm<sup>3</sup>, which statistically significantly. The loss of mass in the laboratory test for brown rot was similar in the two regions with an average of 33%, while for white rot results are different, with the peripheral region 23.35% and 36.57% central region. The colorimetric parameters L\*, a\* and b\* were significantly different depending on the fungal attack of brown rot and white rot in laboratory test values. In field trial samples installed in the open field showed a trend towards higher mass losses for samples of the forest. The deterioration index was reduced with the passage of time of exposure to the environment. The MOE and MOR were being reduced over time, but with periods of oscillation. The values obtained in solubility in 1% sodium hydroxide solution been declining with increasing time of exposure in the field. All wood samples exposed to natural weathering demonstrated a reduction in the b\* parameter, causing the browning of the samples. Comparing the results obtained in laboratory tests and field for both regions analyzed the wood, it is concluded that both conditions do not have to be exposed in contact with the ground.

**Keywords:** Wood-destroying organisms. Deterioration. Colorimetry.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de resistência ao ataque dos fungos apodrecedores ....	26
Tabela 2 - Classificação da deterioração da madeira .....	29
Tabela 3 - Análise de variância fatorial para ensaio da madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> para duas espécies de fungos <i>Trametes versicolor</i> e <i>Gloeophyllum trabeum</i> .....	34
Tabela 4 - Análise de variância fatorial para o parâmetro L* (Luminosidade)	35
Tabela 5 - Análise de variância fatorial para o parâmetro a*(coordenada cromática verde-amarelo) .....	35
Tabela 6 - Análise de variância fatorial para o parâmetro b* (coordenada cromática azul-amarelo) .....	36
Tabela 7 - Médias colorimétricas dos parâmetros L*, a* e b*, para os dois tipos de fungos analisados .....	36
Tabela 8 - Condições climáticas normais do local de realização do ensaio, para o ano de 2013 .....	38
Tabela 9 - Médias de temperatura, número de dias por mês com precipitação superior a 0,30 mm e potencial de ataque fúngico para o ano de 2013 .....	39
Tabela 10 - Perda de massa (%) das estacas de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta .....	40
Tabela 11 - Análise fatorial para o percentual de perda de massa .....	41
Tabela 12 - Teste Tukey após ANOVA fatorial para a perda de massa no tempo .....	42
Tabela 13 - Índice de deterioração das estacas de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta .....	44
Tabela 14 - Análise fatorial para o índice de deterioração .....	45
Tabela 15 - Comparação de médias para o índice de deterioração em função do período de avaliações (dias) .....	46
Tabela 16 - Solubilidade em hidróxido de sódio para três períodos de avaliação para ensaio de campo de apodrecimento .....	48
Tabela 17 - Módulo de ruptura (Mpa) das estacas submetidas ao ensaio de campo: campo aberto e floresta .....	49
Tabela 18 - Análise de variância fatorial para o MOR da madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> submetidas ao ensaio de campo .....	50
Tabela 19 - Comparação de médias para o módulo de ruptura (MOR) em função do período de avaliações (dias) .....	50
Tabela 20 - Módulo de elasticidade (Mpa) das estacas da madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> submetidas ao ensaio de campo: campo aberto e floresta .....	52
Tabela 21 - Análise de variância fatorial para MOE da madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> submetidas ao ensaio de campo .....	53
Tabela 22 - Comparação de médias para o módulo de elasticidade (MOE) em função do período de avaliações (dias) .....	53
Tabela 23 - Médias dos parâmetros L*, a* e b* para as amostras de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> nas três posições de medição colorimétrica e na variação do tempo, submetidas ao ensaio de campo, ambiente floresta .....	55
Tabela 24 - Médias dos parâmetros L*, a* e b* para as amostras de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> nas três posições de medição colorimétrica e na variação do tempo, submetidas no ensaio de campo, ambiente campo aberto ..	57

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Folhas de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> .....	14
Figura 2 - Croqui das amostras em campo de apodrecimento, distribuidos aleatoriamente, entre região periférica e região central da madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> .....	27
Figura 3 - Esquema das medições feitas nos corpos de prova para ensaio de laboratório, para colorimetria .....	30
Figura 4 - Máquina de ensaios utilizada no estudo .....	31
Figura 5 - Perda de massa das regiões avaliadas em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento .....	42
Figura 6 - correlação entre perda de massa e índice de deterioração .....	47
Figura 7 - Equações lineares ajustadas em função do MOR (MPa) e o tempo em que as amostras foram avaliadas em campo de apodrecimento .....	51
Figura 8 - Equações lineares ajustadas em função do MOE (MPa) e o tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento .	54

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
2.1 <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> Poeppig & Endlicher .....	14
2.2 Madeira juvenil e madeira adulta .....	15
2.3 Durabilidade natural da madeira .....	16
2.4 Podridão Branca e podridão Parda .....	18
2.5 Colorimetria .....	19
2.6 Propriedades químicas da madeira .....	20
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
3.1 Obtenção do material .....	22
3.2 Massa específica aparente .....	22
3.3 Ensaio de laboratório .....	22
3.3.1 Preparação dos corpos de prova .....	23
3.3.2 Fungos xilófagos e condições de ensaio .....	23
3.3.4 Inoculação dos fungos .....	24
3.3.5 Frascos de ensaio .....	24
3.3.6 Blocos de correção .....	25
3.3.7 Determinação da perda de massa .....	25
3.4 Ensaio de Campo .....	27
3.4.1 Confecção dos corpos de prova para ensaio de campo de apodrecimento .....	27
3.4.2 Instalação dos campos .....	27
3.4.3 Potencial de ataque fúngico .....	28
3.4.4 Índice de deterioração .....	28
3.4.5 Percentual de perda de massa .....	29
3.5 Colorimetria .....	29
3.6 Testes de flexão estática .....	30
3.7 Solubilidade em hidróxido de sódio a 1% .....	31
3.8 Análise estatística .....	32
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>33</b>
4.1 Massa específica aparente .....	33
4.2 Ensaio de laboratório .....	33
4.2.1 Perda de massa .....	33
4.2.2 Colorimetria .....	35
4.3 Ensaio de campo .....	37
4.3.1 Condições climáticas do período .....	37
4.3.2 Potencial de ataque fúngico .....	38
4.3.3 Perda de massa .....	40
4.3.4 Índice de deterioração .....	43
4.3.5 Solubilidade em Hidróxido de sódio .....	47
4.3.6 Flexão estática .....	48
4.3.7 Colorimetria para ensaio de campo .....	54
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>59</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>60</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material que sempre terá lugar no mercado, devido a sua valorização tanto em beleza quanto em trabalhabilidade e durabilidade. Dentre os diversos ramos madeireiros, o setor mobiliário têm se destacado devido ao surgimento de novas tecnologias e com isso o crescimento da indústria moveleira. A procura por um produto de excelente qualidade tem se tornado cada vez maior, favorecendo a geração de renda neste setor, aumentando a demanda de produtos de maior e melhor qualidade e impulsionando o crescimento das empresas. Desta forma, surge uma preocupação com a qualidade do produto final, incluindo o conhecimento sobre a durabilidade natural da matéria prima para evitar problemas desfavoráveis como a degradação por agentes xilófagos.

Essa nobre matéria prima passa ao longo do tempo por um processo em que acontece aos poucos a perda de suas propriedades (mecânicas, físicas ou químicas) em um gradativo estado de apodrecimento. Este fato é potencializado pela ação de organismos xilófagos que em condições favoráveis de intempéries, como chuvas, ventos, entre outros corrompem com a qualidade da madeira.

Para analisar a durabilidade da madeira e a sua resistência natural contra agentes microbiológicos e ações da natureza, se realiza ensaio de campo. Ao conduzir este tipo de experimento, se obtém resultados muito próximos da situação real em que se pode ou não empregar a madeira. Devido à estimativa da durabilidade da madeira e a confiabilidade deste método que simula uma situação real frente aos agentes bióticos e abióticos que esta metodologia impõe aos corpos de prova utilizados.

Metodologias de análise da durabilidade natural da madeira em contato com o solo permite avaliar a vida média útil e a susceptibilidade a organismos xilófagos. Desse modo, os resultados possibilitam a classificação das madeiras que podem ou não ser utilizadas em contato com o solo, para o uso em construção e estruturas de suporte, ou ainda em outras aplicabilidades onde os riscos de danos ocasionados por fatores climáticos, abióticos e pela diversidade de insetos e fungos xilófagos são consideráveis (JESUS et al., 1998).

A madeira da espécie estudada neste trabalho *Tretorchidium rubrivenium*, conhecida como Canemaçu na região do Vale do Sol (RS), tem como característica

cor branca amarelada, de fácil trabalhabilidade devido à baixa densidade 0,45 g/cm. O conhecimento sobre a durabilidade natural e restrições de uso da madeira de Canemaçu oriunda de plantios nativos é importante, visto que fornece informações básicas a respeito da possível utilização dos seus produtos através das diferentes condições de exposição a agentes bióticos e abióticos, responsáveis pelos maiores danos econômicos à madeira.

Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar a durabilidade natural da madeira de *Tretorchidium rubrivenium* quando submetida à ação de organismos xilófagos em ensaios de campo e de laboratório, comparando-se os parâmetros obtidos para as amostras próximas a medula e próximas a casca da primeira tora:

Os objetivos específicos foram:

- Quantificar a perda de massa da madeira resultante do ataque de fungos de podridão branca e podridão parda, em condições controladas de laboratório;
- Quantificar a perda de massa e o índice de deterioração da madeira submetida aos ensaios de campo aberto e de floresta;
- Avaliar por meio do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em ensaio de flexão estática, o efeito das condições adversas dos ensaios de campo na resistência da madeira.
- Avaliar o efeito do tempo de exposição da madeira em ensaio de campo e de laboratório na mudança de sua coloração.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 *Tetrorchidium rubrivenium* Poeppig & Endlicher

O *Tetrorchidium rubrivenium* Poeppig & Endlicher, conhecida na região como Canemaçu pertence à família Euphorbiaceae e subfamília Crotonoideae (WEBSTER, 1994). A espécie recebe outros nomes populares conforme os diferentes lugares onde se encontra, como Bauna, no estado do Espírito Santo; Peroba-d'água-amarela, no estado de São Paulo (MAINIERI; CHIMELO, 1989); Pau-branco, Embirão e Café-com-leite, no interior do estado do Rio Grande do Sul.

O Canemaçu é uma árvore com copa densa e folhagem verde-escura (Figura 1) que alcança até 25 metros de altura e 80 centímetros de diâmetro, formando um fuste alto (REITZ et al., 1988).

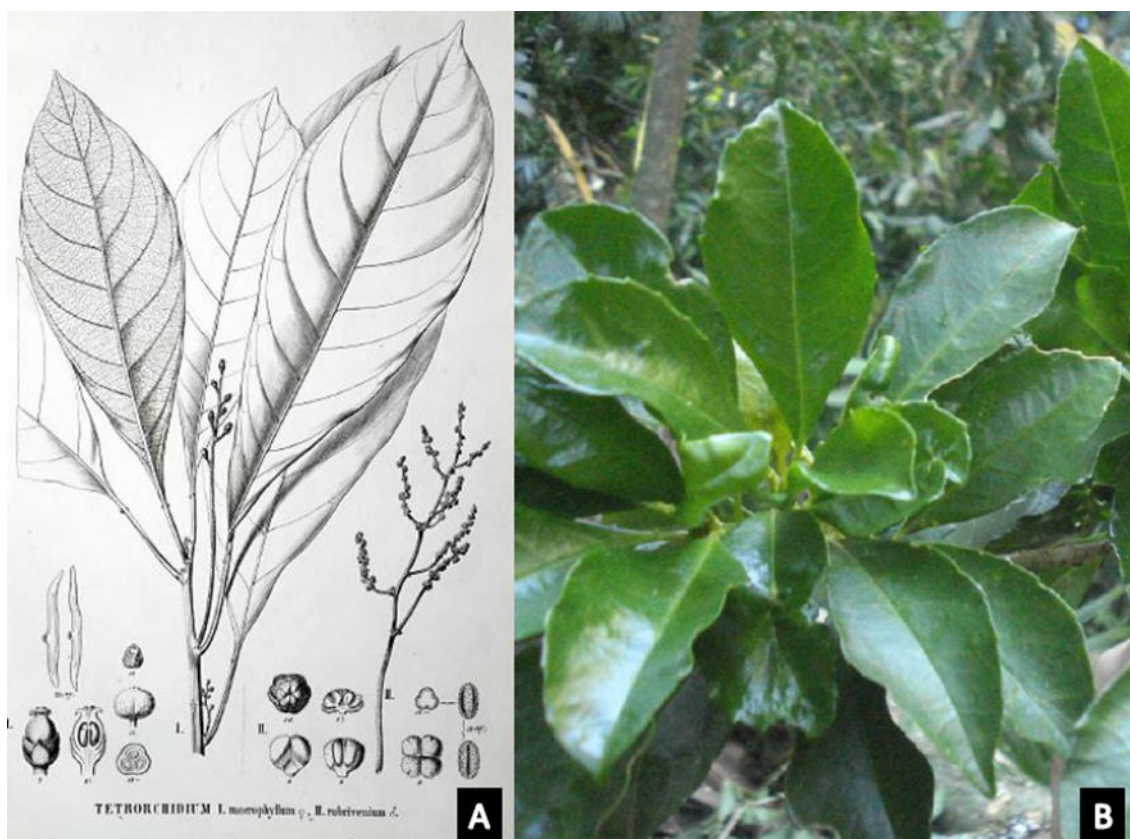


Figura 1 - Folhas de *Tetrorchidium rubrivenium*. A prancha da espécie com detalhamento do material reprodutivo. Fonte: Flora brasiliensis. B- Folhas da espécie coletadas a campo. Fonte: Guma, (2013)



Com mais de 7000 espécies e 300 gêneros, a família Euphorbiaceae é encontrada em maior concentração em regiões tropicais, especialmente sobre a América e a África. Dentre suas espécies são classificados árvores, arbustos, ervas e até lianas (GUMA, 2013). Conforme Denardi (2007), estudos de filogenia apontaram a necessidade de reestruturação da família Euphorbiaceae, segregando a família em: Euphorbiaceae, Picrodendraceae, Putranjivaceae.

No Brasil, a ocorrência de *Tetrorchidium rubrivenium* está compreendida desde a Amazônia até o Rio Grande do Sul (BACKES e IRGANG, 2004). Dentro do estado do Rio Grande do Sul, esta espécie é encontrada na região do Alto Uruguai, desde o Rio Ijuí até o Rio Uruguai (REITZ et al., 1988). Ruschel et al. (2005) relatam a presença de *Tetrorchidium rubrivenium* no Parque do Turvo, localizado entre os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina em remanescentes da Floresta Estacional Decidual. Ruschel et al. (2007) contabilizaram três indivíduos por hectare no referido parque, indicando a madeira como de interesse comercial e fazendo parte do grupo sucessional das espécies oportunistas/clímax.

Espécie arbórea, ocorrente nas matas da região central do Rio Grande do Sul, que possui potencial de recuperar ambientes degradados (BACKES e IRGANG, 2004) e que pode apresentar aplicabilidade madeireira é como definem o *Tetrorchidium rubrivenium* Poepp & Endl. Os autores Reitz et al. (1988) caracterizam sua madeira como leve a moderadamente pesada, com superfície ligeiramente áspera ao tato, possuindo coloração de branco-amarelada a amarelo-claro, sem gosto e cheiro distintos.

A madeira desta espécie apresenta anéis de crescimento indistintos. O tecido lenhoso de *Tetrorchidium rubrivenium* é constituído principalmente por fibras e raios, correspondendo respectivamente a 45 e 33% do total. Os 22% restantes estão divididos, em números redondos, igualmente entre os vasos e o parênquima axial (11%) (GUMA, 2013).

## **2.2 Madeira juvenil e madeira adulta**

A proporção de madeira juvenil existente em uma tora é uma característica que depende basicamente da idade da árvore, do ambiente de plantio e do manejo. Entretanto, a uma mesma idade e em condições semelhantes de ambiente e de

manejo, pode-se verificar que existe expressiva variabilidade neste aspecto. Em algumas espécies e indivíduos, a formação de madeira juvenil estende-se por vários anos, enquanto que em outras a formação de madeira “madura” inicia-se mais cedo. O que caracteriza estas variações são as diferenças que se estabelecem nas proporções de madeira juvenil em relação à madeira “madura” acumuladas no tronco (ASSIS, 2009).

A grande diferença em termos de madeira juvenil em relação à madeira adulta está na magnitude das alterações físico-químicas, que ocorrem no sentido da medula para a casca do tronco. As características químicas envolvidas nas mudanças são: teores de holocelulose, de lignina e de extrativos totais. Segundo a literatura o estudo sobre a madeira juvenil em madeiras de folhosas e a composição química da madeira juvenil ainda não está claramente conhecida (SEVERO, CALONEGO, SANSÍGOLO, 2006).

A ocorrência dos lenhos juvenil e adulto no mesmo fuste implica na existência de diferenças importantes nas propriedades das madeiras da medula até a casca. As principais características anatômicas que variam são: comprimento das fibras e/ou traqueídes, ângulo microfibrilar, diâmetro celular, comprimento celular e espessura da parede celular. Em se tratando de propriedades físicas e mecânicas o lenho juvenil apresenta menor densidade e menor resistência em relação ao lenho adulto (FERREIRA et al., 2010).

Referências na literatura ressaltam que as propriedades físicas e anatômicas da madeira juvenil são diferentes e muitas vezes inferiores às da madeira formada na fase adulta da árvore. A madeira juvenil difere da adulta por apresentar menor densidade, traqueídeos mais curtos, paredes celulares mais finas e menor conteúdo de celulose. Com isso podemos afirmar que as diferenças entre as propriedades do lenho juvenil e adulto são importantes para a utilização da madeira (CALEGARI et al., 2002).

### **2.3 Durabilidade natural da madeira**

O processo de degradação pode ser estudado através da avaliação da durabilidade natural das madeiras, segundo Jesus *et al.* (1998), esta característica permite analisar a vida média útil e a susceptibilidade a organismos xilófagos,

podendo assim ser realizado uma classificação do uso da madeira, quanto ao grau de degradação, não só ocasionada por esses organismos, mas também por fatores abióticos. O mesmo autor ressalta que as informações obtidas neste tipo de estudo complementam o conhecimento das demais propriedades tecnológicas, que em conjunto, podem fornecer diretrizes não só para o melhor uso, como também viabiliza a comercialização de espécies florestais com potencialidades na indústria madeireira.

O comportamento de uma mesma madeira pode ser diferente em ambientes distintos, pois eles apresentam características de umidade, insolação, aeração, temperatura e presença de organismos xilófagos. Tais fatores atuam conjuntamente sobre a madeira, determinando sua durabilidade natural (MENDES e ALVES, 1988).

Para definição do grau de resistência natural de uma determinada espécie, basicamente, dois tipos de ensaios, dependendo do propósito, podem ser executados: ensaios em laboratório e ensaios de campo (STANGERLIN, 2012). Lunz (2001) observa que os ensaios de campo submetem a madeira a riscos de deterioração e desgaste não contemplados nos ensaios realizados em laboratório.

Testes em campo têm reproduzido com fidelidade situações de uso da madeira com ou sem tratamento químico. Madeiras nessas situações estão expostas a períodos irregulares de lixiviação, secagem, exposição à luz solar, além dos agentes químicos presentes no solo e diversos micro-organismos xilófagos que podem atuar em conjunto. Esses ensaios consistem basicamente no soterramento parcial de amostras de madeira seguido de inspeções periódicas, objetivando avaliar o seu estado de sanidade (COSTA et al., 2005).

Como desvantagens para os ensaios de campo destaca-se o longo período (anos) necessário para obtenção de análises, em razão do uso de peças roliças de grandes dimensões (SANTINI, 1988). Desta forma, é de extrema relevância o emprego de ensaios de deterioração de campo com peças de pequenas dimensões, de modo a possibilitar o levantamento de informações relativas à resistência natural das madeiras em curto espaço de tempo (MARCONDES et al., 2013).

Diversos pesquisadores utilizam, além das avaliações visuais como o índice de comportamento, um segundo parâmetro, ensaio mecânico ou perda de massa, para melhor caracterizar a resistência natural de uma madeira em ensaios de campo de apodrecimento (EATON, 1993). Segundo Trevisan et al. (2007) fator de extrema

importância e que deve ser levado em consideração, é com relação às propriedades mecânicas. O estudo desses parâmetros, em trabalhos que avaliam a decomposição da madeira, pode fornecer informações valiosas quanto à redução dessas características diante do processo de degradação causado pelos agentes biodeterioradores, agregando informações sobre este comportamento.

Valores obtidos através de ensaios de flexão como módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) são dois parâmetros segundo Silva et al.(2005), que auxiliam na caracterização tecnológica da madeira, em que ambos dão uma boa aproximação da resistência do material, constituindo-se, na prática, parâmetros de grande aplicação na classificação dos materiais.

## **2.4 Podridão Branca e podridão Parda**

Entre os fungos responsáveis pelo apodrecimento da madeira, destaca-se a classe dos basidiomicetos, na qual se encontram os fungos responsáveis pela podridão-parda e pela podridão-branca, que possuem características enzimáticas próprias, quanto à decomposição dos constituintes primários da madeira. Os primeiros decompõem os polissacarídeos da parede celular, e a madeira atacada apresenta uma coloração residual pardacenta. Os últimos atacam, indistintamente, tanto os polissacarídeos quanto a lignina. Nesse caso, a madeira atacada adquire um aspecto mais claro (OLIVEIRA et al., 2005)

Os fungos apodrecedores são responsáveis por alterar as propriedades físicas e mecânicas da madeira causando destruição das moléculas que constituem a parede celular (IPT, 2001). Os fungos de podridão branca atacam facilmente a lignina e o de podridão parda que têm maior preferência por atacar a celulose do que a lignina provoca uma redução nas características mecânicas da madeira, além de gerar, ao final do processo, uma elevada diminuição na massa específica em relação à podridão branca (MODES, 2008).

A podridão branca causada por fungos pertencente à classe dos basidiomicetos ocorre com predominância sobre as demais em madeiras expostas à umidade contínua, em geral, em teores de umidade considerados ideais entre 40 e 50% (MODES, 2008).

Uma das consequências da podridão branca, causada por fungos é a perda total ou parcial da resistência, pois estes agentes biológicos consomem a lignina, que promove a rigidez da parede celular, devido a grande quantidade de holocelulose na madeira, durante o ataque, esta adquire uma coloração esbranquiçada além de progressiva perda de peso e das propriedades mecânicas (MENDES, 1988). De acordo com Trevisan et al. (2007) a lignina é degradada intensamente pelos fungos de podridão branca e podridão mole.

Segundo IPT (2001), estes fungos utilizam moléculas de celulose e hemicelulose da madeira. Quando em estágios avançados de ataque observa-se, na madeira seca, a presença de fissuras paralelas e perpendiculares às fibras, alteração na cor, além de obter uma consistência quebradiça e friável. De acordo com Mendes (1988) a perda de resistência mecânica na madeira, atacada por fungos que causam podridão parda, é provocada pela destruição dos elementos estruturais da parede celular.

Na podridão parda a lignina permanece intacta, e enquanto o material estiver no estado úmido não ocorre alteração na estrutura da madeira, porém quando a madeira estiver seca, a estrutura mantida pela lignina sofrerá fissuras paralelas e perpendiculares à grã (MORESCHI, 2011). Para o mesmo autor, a madeira com podridão parda perde peso e resistência em função do consumo de celulose e hemicelulose.

## **2.5 Colorimetria**

A cor é uma das características mais importantes para a identificação e indicação de usos de espécies de madeira, principalmente quando associada aos aspectos de textura e desenho. Esta coloração pode ser alterada com o teor de umidade, com a temperatura, por degradações provocadas tanto pelo ataque de organismos xilófagos como por reações fotoquímicas dos elementos químicos presentes na sua estrutura (CAMARGOS, GONÇALEZ, 2001). A lignina é o principal constituinte da madeira que interfere em sua estabilidade colorimétrica quando exposta ao intemperismo devido ao mecanismo de absorção de luz visível e ultravioleta de seus grupos cromóforos (GEORGE et al., 2005).

O sistema CIEL\*a\*b\* de 1976, desenvolvido pela Comissão International d'Eclairage, especifica a percepção (impressão física) das cores em termos de números, em um espaço tridimensional: a axial L\* indica a luminosidade e varia de 0 (preto) a 100 (branco); as coordenadas a\* e b\* representam os eixos vermelho-verde e amarelo-azul, respectivamente (SILVA e PASTORE, 2004).

A cor da madeira varia com o teor de umidade e normalmente se torna mais escura quando exposta ao ar, pela oxidação das substâncias orgânicas contidas no material lenhoso. Tal efeito é promovido pela elevação da temperatura, como por exemplo, quando se expõe a madeira a radiação solar. Outras formas de alteração da cor natural da madeira, diz respeito a situações em que este material se encontra em contato com metais, ou por ação de microrganismos (fungos e/ou bactérias) (MORESCHI, 2011).

A madeira submetida a intempéries, em curto período de tempo, apresenta variação de cor, posteriormente, a superfície torna-se áspera, provocada pela erosão causada pela água da chuva, que remove os polímeros decompostos e deteriora a microestrutura (DANIEL et al., 2004). O intemperismo, ação complexa e combinada do sol, da chuva ou umidade e dos ventos, é um processo superficial iniciado pela luz solar, que penetra apenas 2,0 mm abaixo da superfície (HON, 2001). A radiação ultravioleta – UV (30 – 400 nm) do espectro solar é o fator considerado mais prejudicial, pois desencadeia reações de decomposição química da celulose, lignina e hemicelulose (FEIST e HON, 1984).

Estudos recentes tem relacionado à perda de massa e a diferenciação colorimétrica para ensaios de laboratório, como Souza et al. (2010) que relacionou a resistência natural e alteração da cor da madeira de *Machaerium scleroxylon* Tul. submetida ao ataque de fungos apodrecedores. Já os autores STANGERLIN et al. (2013) fizeram o monitoramento da biodeterioração da madeira de três espécies amazônicas pela técnica da colorimetria, avaliando em períodos a mudança da cor das amostras e a perda de massa das mesmas.

## **2.6 Propriedades químicas da madeira**

Os principais fatores químicos que influenciam a durabilidade natural da madeira são os próprios polímeros da parede celular e os extrativos presentes na

forma de terpenos, e polifenóis condensados como quinonas, lignanas, taninos e estilbenos (ALMEIDA et al., 2012).

A quantidade e a qualidade dos extrativos são bastante variáveis de espécie para espécie. As variações nos teores dessas substâncias são evidentes entre indivíduos dentro de uma mesma espécie, variando do cerne mais interno para o recém-formado, sendo mais efetivo neste último (OLIVEIRA et al., 2005). De acordo com Carneiro et al. (2009), a perda de massa, o teor de extrativos e o potencial de resistência natural, são diretamente relacionados.

A resistência natural à deterioração é uma das propriedades tecnológicas com maior variabilidade em razão das diferenças de arranjo anatômico e da composição química (qualitativa e quantitativa) da madeira, de modo a proporcionar distintas classes de durabilidade entre espécies, dentro de uma mesma espécie e também dentro de uma mesma árvore (EATON; HALE, 1993).

A variação da cor da madeira no sentido de escurecimento é atribuída a resultante da fotodegradação da lignina e dos extrativos, através dos radicais livres (HON, 2001). Outro fator importante é a ação da água, que causa a lixiviação tanto de extrativos como dos produtos fotodegradados (FEIST E HON, 1984) e expõe uma nova superfície à ação do tempo.

A solubilidade da madeira a quente em hidróxido de sódio a 1% indica a remoção de extrativos e carboidratos de baixa massa molecular, que consistem basicamente em algumas polioses (hemiceluloses) e celulose degradada, indicando o grau de degradação causada por fungos ou degradação por calor, luz, oxidação, etc (ABNT, 2001). Brand e Muñiz (2012) salientam a importância da análise principalmente para a avaliação da variação da composição química, indicando a ocorrência de processos de degradação química (oxidativas) e enzimática (biodegradação por fungos e bactérias).

A análise de solubilidade da madeira em hidróxido de sódio, juntamente com a densidade básica, são parâmetros que podem ser utilizados para verificar a biodegradação do material. A biodegradação afeta a quantidade da massa contida no combustível afetando diretamente o desempenho energético do material (BRAND et. al., s/d). Portanto, é usado geralmente para determinação do grau de ataque da madeira por fungos e outros agentes de deterioração (UFPR, 2008).

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Obtenção do material

A madeira utilizada para a realização deste trabalho foi obtida de cinco árvores de *Tetrorchidium rubrivenium*, retiradas de um povoamento florestal natural localizado no município de Vale do Sol, Rio Grande do Sul, entre as coordenadas 29° 36' 14" S e 52° 40' 58" N. Antes do abate das árvores, foi encaminhada a licença ambiental para a realização do trabalho, conforme legislação vigente, para realização da pesquisa de Rosana Guma no ano de 2012/2013. Além disso, foi coletado material botânico para exame no Herbário Florestal da Universidade Federal de Santa Maria com objetivo à identificação correta da espécie (GUMA, 2013).

### 3.2 Massa específica aparente

A massa específica aparente foi obtida a partir dos mesmos corpos de prova que foram utilizados nos ensaios de campo, com dimensões de 2,0 x 2,0 x 30,0 cm. O valor foi determinado com base na massa e volume das amostras (Equação ) após a estabilização em câmara climatizada a 20°C de temperatura e 65% de umidade relativa.

$$ME = m \text{ (g)} / v \text{ (cm}^3\text{)}$$

Equação 1

Em que:

ME = massa específica aparente das amostras, g/cm<sup>3</sup>;

m = massa, g;

v = volume, cm<sup>3</sup>.

### 3.3 Ensaios de laboratório

O ensaio de apodrecimento acelerado foi conduzido no Laboratório de Engenharia Industrial Madeireira, UFPEL Pelotas- RS, seguindo a metodologia proposta pela norma ASTM D 2017 (ASTM, 2005), com corpos de prova com



dimensões modificadas para de 2,0 x 2,0 x 0,9 cm (largura, comprimento e altura respectivamente).

### 3.3.1 Preparação dos corpos de prova

Corpos de prova de madeira de Canemaçu nas dimensões de 2,0 x 2,0 x 0,9 cm foram serrados de peças da região próximos à casca e da região próximo à medula das mesmas amostras confeccionadas para ensaio de campo. O material foi acondicionado em estufa com circulação forçada de ar a 50°C, até atingir massa constante. Posteriormente, com uso de balança analítica com resolução de 0,0001g foi registrado o resultado como massa inicial (Mi).

Para cada tratamento, próximo a casca e próximo a medula foram ensaiadas 36 corpos de prova, sendo 12 para podridão branca, 12 para podridão parda, e 12 blocos de correção (sem fungo). Após a pesagem inicial, os corpos de prova foram esterilizados em autoclave, a 121°C durante 45 minutos.

### 3.3.2 Fungos xilófagos e condições de ensaio

Os fungos utilizados neste estudo foram fornecidos pelo Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro, localizado em Brasília, no Distrito Federal. O referido atua na área de tecnologia da madeira e outros produtos florestais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável no setor florestal.

Foram empregadas duas espécies de fungos xilófagos *Trametes versicolor* (Linnaeus ex Fries) Pilat, espécie causadora de podridão branca, predominante em madeira de folhosas; e *Gloeophyllum trabeum* (Persoon. ex Fries.) Murr., espécie causadora de podridão parda.

O meio de cultura utilizado para a repicagem dos fungos foi AEM (ágar e extrato de malte) na proporção de 20 g de ágar, 20 g de extrato de malte e 1000 ml de água destilada. Após o preparo o meio de cultura foi submetido à autoclave por cerca de 30 minutos a 121°C e pressão de 1 atm. Após 24 horas o meio de cultura foi transferido para as placas de Petri esterilizadas, em capela de fluxo laminar.

Logo foi realizada a transferência dos fragmentos de fungo original contido em tubo de ensaio para placas de Petri em capela de fluxo laminar. Estas placas foram mantidas até a completa colonização do fungo.

#### 3.3.4 Inoculação dos fungos

A inoculação dos fungos foi realizada em câmara de fluxo laminar. Os fragmentos do meio de cultura contendo micélio dos fungos foram extraídos diretamente da placa de Petri e depositados sobre cada uma das placas de *Pinus elliottii* (placa suporte) com dimensões de 3,3 x 2,9 x 0,3 cm. Logo os 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 pelos micélios dos fungos.

Antes de entrar em contato com os fungos apodrecedores os corpos de prova foram secos em estufa para a obtenção da massa inicial. Após, as amostras foram identificadas e submetidas à autoclavagem por uma hora a 120°C.

Depois de passar pela autoclave, os corpos de prova foram colocados em capela de fluxo laminar durante 30 minutos até reduzir a temperatura. Posteriormente, com o auxílio de uma pinça esterilizada, foram postos em contato com a placa de *Pinus elliottii* completamente colonizada pelos fungos. Após a inoculação, os frascos retornaram para a câmara de incubação onde permaneceram por um período de 16 semanas.

#### 3.3.5 Frascos de ensaio

Para a montagem do ensaio foram utilizados 80 frascos de vidro transparente com capacidade de 450 ml, com boca larga e tampa rosqueável e, contendo 100 g de solo (horizonte B), livre de matéria orgânica 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. A umidade do solo foi ajustada para 130% da capacidade de campo, com adição de água deionizada.

No interior de cada frasco de ensaio, colocou-se sobre o solo uma placa de suporte de 3,3 x 2,9 x 0,3 cm, para o desenvolvimento inicial do fungo. Foram

utilizadas placas de suporte de *Pinus elliottii*. A esterilização foi feita em autoclave a 121°C por 45 minutos.

Cada frasco foi inoculado com 1 mL de meio de cultura, contendo o micélio fragmentado, depositado diretamente sobre a placa suporte. Os frascos foram preparados uma semana antes da inoculação, durante o período de crescimento dos fungos em meio líquido. Após a colonização das placas de suporte, introduziu-se um corpo de prova em cada frasco de ensaio os quais permaneceram na incubadora por 16 semanas em contato com os fungos.

Todas as operações de manipulação de fungos (repicagem, inoculação, fragmentação do micélio, introdução de corpos de prova nos frascos de ensaio) foram realizadas sob condições assépticas, no interior de capela de fluxo laminar.

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

### 3.3.6 Blocos de correção

Para cada tratamento, 12 corpos de prova foram introduzidos em frascos de ensaio não inoculados (sem fungos), recebendo o mesmo tratamento e manipulação dos demais. Os blocos de correção têm o objetivo de determinar a perda de massa resultante da manipulação dos corpos de prova e oscilações no teor de umidade antes e após o ataque e, portanto, servem para determinar a perda de massa causada por outras ações, não provocadas por fungos.

### 3.3.7 Determinação da perda de massa

Para avaliar a durabilidade natural da madeira, determinou-se a perda de massa a partir dos valores de  $M_i$  e  $M_f$  por corpo de prova (PM<sub>cp</sub>), conforme a Equação 2.

$$PM_{cp} = (M_i - M_f / M_i) \times 100\%$$

Equação 2

Em que:

$PM_{cp}$  = perda de massa do corpo-de-prova, %;

$M_i$  = massa inicial, g;

$M_f$  = massa final, g.

Após a determinação da perda de massa individual de cada corpo de prova ( $PM_{cp}$ ), calculou-se 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, conforme a Equação 3 .

$$PM = PM_t - PM_{bc}$$

Equação 3

Em que:

$PM$  = perda de massa final do tratamento, %;

$PM_t$  = média de perda de massa total do tratamento, %;

$PM_{bc}$  = média de perda de massa dos blocos de correção do tratamento, %.

Com base na  $PM$ , os tratamentos foram classificados quanto à resistência ao ataque dos fungos, segundo os critérios estabelecidos da ASTM D-2017:05.

Tabela 1 - Classes de resistência ao ataque dos fungos apodrecedores

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

(Fonte: ASTM D-2017:05)

### 3.4 Ensaio de Campo

#### 3.4.1 Confeção dos corpos de prova para ensaio de campo de apodrecimento

Os corpos de prova para o ensaio de campo foram retirados de 5 árvores de *Tetrorchidium rubrivenium*. De cada árvore foram retiradas 3 tábuas centrais da primeira tora. As amostras foram retiradas próximas a medula e a casca, de modo a caracterizar os lenhos juvenil (próxima a medula, RC) e adulto (próximo a casca, RP) respectivamente.

Onde a parte próxima à medula foi considerada a região central (RC) e as partes externas próximas da casca das tabuas (distante do centro) foram utilizadas para confecção dos corpos de prova referente à região periférica (RP).

#### 3.4.2 Instalação dos campos

A instalação dos corpos de prova em campo de apodrecimento foi realizada em dois climas distintos, um em campo aberto e outro em situação de floresta localizado no viveiro florestal da UFSM o campo aberto e o de situação Floresta, próximo ao jardim botânico em um povoamento de *Pinus sp.* Para isso, corpos de prova de 2,0 x 2,0 x 30,0 cm da espécie estudada foram divididas de forma sistemática, e instalados nessas duas áreas, com espaçamento de 0,50 cm entre cada estaca, conforme o esquema ilustrado na Figura 2.

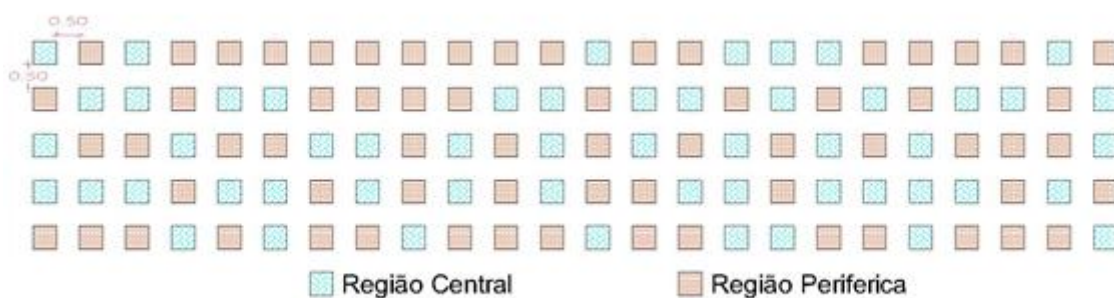


Figura 2 - Croqui das amostras em campo de apodrecimento, distribuídos aleatoriamente, entre região periférica e região central da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium*.

No local do ensaio, os corpos de prova foram enterrados até aproximadamente a metade do seu comprimento (15 cm), de forma que a zona de

afloramento (geralmente a parte mais deteriorada da madeira) fosse coincidente com a região onde será aplicada a carga nos ensaios de flexão estática.

Foram levantadas as condições climáticas da região com a finalidade de ter conhecimento das oscilações de temperatura, umidade relativa do ar e os níveis pluviométricos do local de implantação do experimento; e também durante o período de execução dos testes, utilizando-se as informações da Estação Experimental de Meteorologia da UFSM.

### 3.4.3 Potencial de ataque fúngico

Para a determinação do potencial de ataque fúngico (PAF) seguiu-se a orientação expressa na Equação 4 desenvolvida por Scheffer (1971) e adaptada para as condições brasileiras por Martins et al. (2003), utilizada recentemente por Vivian (2011).

$$PAF = \sum (T-2) \cdot (D-3) / 16,7$$

Equação 4

Em que:

PAF = potencial de ataque fúngico;

$\sum$  = somatório dos meses de Janeiro a Dezembro

T = temperatura média, °C;

D = número de dias no mês com precipitação pluviométrica igual ou superior a 0,30 mm.

### 3.4.4 Índice de deterioração

O índice de deterioração foi avaliado conforme Lepage (1970), que define como um critério subjetivo de avaliação do estado de deterioração das amostras de madeira, baseado em notas, de acordo com a Tabela 2

Tabela 2 - Classificação da deterioração da madeira

Estado de sanidade	Nota	Índice de deterioração
Sadio, nenhum 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)

### 3.4.5 Percentual de perda de massa

Para avaliação da perda de massa, as amostras serão mantidas em câmara climática a 20°C de temperatura e 65% de umidade relativa até estabilização da massa das mesmas, antes de serem levadas a campo e após retiradas do mesmo, para eliminar o efeito da umidade da madeira. Assim, com base nos valores de massa inicial e final será calculada a perda de massa (PM) de cada uma das amostras, conforme a Equação 5:

$$PM (\%) = (M_i - M_f / (M_i)) \times 100$$

Equação 5

Em que:

PM = perda de massa, %,

M<sub>i</sub> = massa inicial, g e

M<sub>f</sub> = massa final, g.

### 3.5 Colorimetria

Para verificar a mudança de coloração dos corpos de prova referente aos dois campos de apodrecimento, campo aberto e floresta, os ensaios foram realizados em triplicata nas faces radial e tangencial das amostras, ainda foram realizadas três análises de colorimetria: uma na parte onde a amostra recebe luminosidade, outra na região central (zona de afloramento) e a última na parte onde fica enterrada no solo. Já para o ensaio de colorimetria para as os corpos de prova de ensaio de apodrecimento acelerado, fez-se a medição antes de realizar o ensaio e no término do mesmo, em cinco posições na face trasversal (Figura 3).

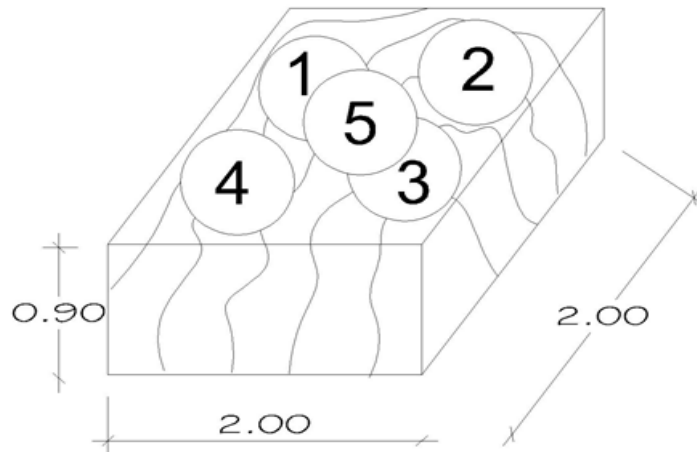


Figura 3 - Esquema das medições feitas nos corpos de prova para ensaio de laboratório, para colorimetria.

Foi utilizado o colorímetro marca Konica Minolta, modelo CR-400/401 para realização desta análise. O aparelho foi configurado para o uso de fonte de luz (iluminante) D65 e ângulo de observação de  $10^\circ$  no padrão descrito pela Commission Internationale de L'éclairage (CIE- $L^*a^*b^*$ ). Os parâmetros colorimétricos  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , indicam claridade (preto, 0 – branco, 100), coordenada cromática vermelho (+) – verde (-) e coordenada cromática amarelo (+) – azul (-), respectivamente.

### 3.6 Testes de flexão estática

Nas mesmas amostras que foram utilizadas nas determinações anteriores, para ensaio de campo, foi realizado o ensaio mecânico de flexão estática, com o objetivo de auxiliar na avaliação da degradação biológica da madeira. As dimensões dos corpos de prova utilizados foram (2,0 x 2,0 x 30,0 cm) e estão em conformidade com as recomendações da COPANT 30:1-006 (1972), sendo a carga aplicada na metade de seu comprimento, aproximadamente na região correspondente à linha de afloramento.

O ensaio foi realizado na UFPEL, na Máquina de Ensaio Mecânicos, Emic DL30000N dotada de um computador acoplado com software, Tesc versão 3.04, sendo este específico para obtenção dos dados do ensaio, conforme figura 4.





Figura 4 - Máquina de ensaios utilizada no estudo.  
Fonte: a autora (2014)

Após a realização dos testes, foram determinados os módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) diretamente pelo relatório gerado pelo programa Tesc.

### **3.7 Solubilidade em hidróxido de sódio a 1%**

Para auxílio do entendimento das alterações químicas das amostras por meio da exposição ao campo de apodrecimento foi realizado o ensaio de solubilidade em hidróxido de sódio a 1%, conforme a norma TAPPI T 4 m-59. Foi coletado 4 cm de cada corpo de prova do ensaio a campo de apodrecimento, da região central (zona de afloramento). Devido ao baixo rendimento das amostras no moinho de facas, se fez necessário a alteração na gramatura da serragem, que foi malha 40 ASTM.

Foi feita a primeira análise em tempo 0, e após a retirada do material em campo de apodrecimento, foi feito duas análises, uma para 5 meses de exposição ao campo de apodrecimento e outra para 9 meses, no término do teste, para os dois climas distintos.

A partir das amostras secas em estufa a 60°, foi pesado uma quantidade equivalente a  $2,0 \pm 0,1$ g das amostras absolutamente seco. Foi transferido para um becker de 200ml e adicionado, com pipeta, 100ml da solução de NaOH; e agitado

com um bastão de vidro. Logo os Becker's foram postos em banho-maria e cobertos com vidro de relógio.

Foi conservado em banho-maria exatamente por 1 hora, agitando rapidamente o conteúdo do becker após 10, 15 e 25 minutos do início. Ao fim de 1 hora o material foi transferido quantitativamente para um esquema montado com quitosato e papel filtro (papel filtro seco em estufa e tarado) e bomba a vácuo. O material foi lavado por sucção, inicialmente com água destilada quente, depois com 50 ml de ácido acético a 10% e finalmente com água destilada quente, até a remoção total do ácido.

Logo após a filtração o material foi para estufa nas mesmas condições iniciais.

A porcentagem de produtos solubilizados foi dada pela equação 6:

$$\%E = (P - P' / P) \times 100\%$$

Equação 6

Em que:

E = Porcentagem do produto solubilizado

P = Peso inicial da amostra a.s. em g

P' = Peso da amostra após o ensaio em g

### 3.8 Análise estatística

Os dados referentes a este estudo foram processados e analisados de forma eletrônica, a partir da elaboração de um banco de dados utilizando-se o programa Excel® 2007, e de um programa de análise estatística, SYSTAT 12.

Os dados foram avaliados por análise de variância (ANOVA), com posterior comparação de média pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro, e após a análise de regressão para os ensaios de campo de apodrecimento. Para a análise do ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório foi empregado o delineamento estatístico inteiramente casualizado, com arranjo fatorial, em que foram analisados os seguintes fatores: a região da madeira com dois níveis; fungos xilófagos, com dois níveis; e a interação entre os fatores, empregando-se o teste de Tukey em nível 5 % de probabilidade de erro, para os fatores.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Massa específica aparente

A massa específica aparente, 12% de umidade, da madeira de Canemaçu para região próxima a casaca (RP= 0,483g/cm<sup>3</sup>) e região próxima a medula (RC= 0,424g/cm<sup>3</sup>) apresentou diferença estatística após análise de variância com (p=000). Observa-se que os valores das duas regiões são diferentes, de forma que a massa específica para região periférica é mais elevada que a região central.

Equivalente a Madeira juvenil a região central e madeira adulta a região periférica, podemos justificar a menor massa específica para região central conforme os autores Passiales & Kiriazakos (2004), que citam que a madeira juvenil é caracterizada pela taxa de crescimento mais rápida, menor densidade e resistência, fibras curtas, maiores ângulos fibrilar e microfibrilar, quando comparado com a madeira adulta.

Os valores obtidos no presente estudo incluíram a madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* entre as consideradas leves a moderadamente pesadas. Guma (2013) encontrou para massa específica (ME) básica, média de 0,4062 g/cm<sup>3</sup>.

### 4.2 Ensaio de laboratório

#### 4.2.1 Perda de massa

Para a perda de massa sofrida pela madeira de Canemaçu durante o ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório com os fungos *Gloeophyllum trabeum* (podridão parda) e *Trametes versicolor* (podridão branca) para as duas regiões da madeira, região periférica (RP) e região Central (RC) obteve-se as seguintes médias: para a podridão parda na região periférica 33,09% e região central 32,96%, para podridão branca na região periférica 23,35 % e região central 36,57%.

A Região central teve diferença estatística em relação à região periférica (p=0,008). A análise de variância fatorial (Tabela 3) indicou significância entre a interação região e os tipos de fungos (p=0,003), sendo a região periférica com fungo *T. versicolor* diferente estatisticamente dos outros tratamentos.

Tabela 3 - Análise de variância fatorial para ensaio da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* para duas espécies de fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
REGIAO	1	301.861	301.861	7.972	0.008*
FUNGOS	1	84.531	84.531	2.232	0.145 <sup>ns</sup>
REGIAO*FUNGOS	1	400.679	400.679	10.581	0.003*

\* significativo em nível de 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo

Os autores Souza et al. (2010) ao avaliar a madeira *Machaerium scleroxylon* Tul. (Jacarandá caviúna) em testes de apodrecimento acelerado com fungo de podridão parda e podridão branca, chegaram a valores de baixa perda de massa: 2,97% para podridão branca e 2,06% para podridão parda. Apresentando elevada resistência natural, devido à baixa perda de massa (%) para ambos os tipos de podridões, sendo classificada como altamente resistente (ASTM, 2005).

É possível classificar a madeira de Canemaçu como moderadamente resistente para o fungo de podridão parda para as duas regiões analisadas (média de 33%) e para a podridão branca a parte periférica (23,35 %) é classificada como resistente e a região central (36,57%) moderadamente resistente, conforme a classificação sugerida pela norma ASTM D 2017 (ASTM, 2005).

Os autores Almeida et al. (2012), chegaram a conclusão em sua pesquisa que a madeira de cedro australiano é moderadamente resistente com perda de massa de 27,79% em relação ao fungo *Trametes versicolor*. Frente ao *Gloeophyllum trabeum*, a madeira de cedro australiano é altamente resistente com perda de massa de 2,93%, de acordo com a classificação sugerida pela norma ASTM D 2017 (ASTM, 2005).

Os mesmos autores (ALMEIDA et al., 2012) sugerem que para fins de uso da madeira, os resultados desse ensaio e as informações da literatura levam a crer que o cedro australiano é uma espécie indicada para usos onde as peças não estarão expostas à umidade, tais como usos internos, já que para o fungo *T. versicolor* a madeira de Cedro australiano foi classificada como moderadamente resistente, de acordo com os critérios da norma ASTM D 2017 (ASTM, 2005). Esta

sugestão pode ser seguida também para madeira de Canemaçu já que esta classificada como moderadamente resistente para o fungo *Trametes versicolor*.

#### 4.2.2 Colorimetria

A interação entre fungos\*dias encontrada na ANOVA fatorial (Tabela 4), para o parâmetro L\* (Luminosidade) evidencia a grande diferença da ação dentre os fungos do início do ensaio para o final. Na análise posterior pareada com o teste Tukey, apenas entre os fungos *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor* na medição realizada no início do ensaio não foi encontrada diferença estatística significativa, os outros se diferenciaram estatisticamente.

Tabela 4 - Análise de variância fatorial para o parâmetro L\* (Luminosidade).

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Fungo	1	4013,878	4013,878	815,387	0,000*
Região	1	16,360	16,360	3,323	0,076 <sup>ns</sup>
Dias	1	10610,860	10610,860	2155,511	0,000*
Fungo x região	1	1,003	1,003	0,204	0,654 <sup>ns</sup>
Fungo x dias	1	4448,723	4448,723	903,722	0,000*
Região x dias	1	2,497	2,497	0,507	0,480 <sup>ns</sup>
Fungo x região x dias	1	22,705	22,705	4,612	0,058 <sup>ns</sup>

\* significativo em nível de 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo

Para ANOVA fatorial (Tabela 5), realizada para o parâmetro a\* coordenada cromática verde- vermelho (a\*) existe diferença significativa apenas entre o início e o final do ensaio, sendo os valores do parâmetro no final do ensaio mais elevados em relação ao início estatisticamente ao início.

Tabela 5 - Análise de variância fatorial para o parâmetro a\*(coordenada cromática verde-amarelo).

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Fungo	1	0,018	0,018	0,015	0,903 <sup>ns</sup>
Região	1	0,677	0,677	0,575	0,453 <sup>ns</sup>
Dias	1	310,859	310,859	263,834	0,000*
Fungo x região	1	0,005	0,005	0,004	0,950 <sup>ns</sup>
Fungo x dias	1	0,253	0,253	0,214	0,646 <sup>ns</sup>
Região x dias	1	1,768	1,768	1,501	0,228 <sup>ns</sup>
Fungo x região x dias	1	1,911	1,911	1,622	0,210 <sup>ns</sup>

\* significativo em nível de 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo

Novamente a interação entre fungos\*dias encontrada na ANOVA fatorial para o parâmetro  $b^*$ , coordenada cromática azul-amarelo (Tabela 6) evidencia a grande diferença da ação dentre os fungos no início para o término do ensaio. Na análise posterior pareada com o teste Tukey, apenas entre os fungos *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor* no início do ensaio não foi encontrada diferença estatística significativa, os outros se diferenciaram estatisticamente.

Tabela 6 - Análise de variância fatorial para o parâmetro  $b^*$  (coordenada cromática azul-amarelo).

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Fungo	1	696,716	696,716	111,818	0,000*
Região	1	16,115	16,115	2,586	0,116 <sup>ns</sup>
Dias	1	12,113	12,113	1,944	0,171 <sup>ns</sup>
Fungo x região	1	3,264	3,264	0,524	0,473 <sup>ns</sup>
Fungo x dias	1	471,300	471,300	75,641	0,000*
Fungo x região x dias	1	12,158	12,158	1,951	0,170 <sup>ns</sup>

\* significativo em nível de 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo

De modo geral, independente da região da madeira analisada, os parâmetros colorimétricos  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  apresentaram valores significativamente distintos em função do ataque dos fungos de *Gloeophyllum trabeum* (podridão parda) e *Trametes versicolor* (podridão branca) conforme é possível visualizar as médias na Tabela 7.

Tabela 7 - Médias colorimétricas dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , para os dois tipos de fungos analisados.

Fungos	Dias	$L^*$		$a^*$		$b^*$	
		RP	RC	RP	RC	RP	RC
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	0	82,9	82,5	-0,12	0,88	26,8	22,8
	120	32,0	35,3	5,60	5,04	17,2	17,8
<i>Trametes versicolor</i>	0	80,8	82,6	0,07	0,31	26,6	25,7
	120	71,2	71,2	5,29	5,56	31,6	31,2

Como o parâmetro  $L^*$  é influenciado pelas coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$ , as quais caracterizam a coloração da madeira, pode-se observar como as cores das amostras de Canemaçu tornaram-se mais intensas e saturadas, devido ao aumento da pigmentação amarela ( $b^*$ ) após o ataque do fungo *Trametes versicolor* (podridão branca). O resultado após o ataque do fungo *Gloeophyllum trabeum* (podridão parda), foi à observação de uma diminuição de todos os parâmetros colorimétricos com exceção do parâmetro  $b^*$  que aumentou para os diferentes fungos.

Observou-se uma variação no parâmetro  $L^*$  para as amostras testadas com o fungo de podridão parda causando um decréscimo, o que ocasiona o escurecimento da madeira (RP 82,9 para 32 e RC 82,5 para 35,3). E para a podridão branca o escurecimento foi menor (RP 80,8 para 71,2 e RC 82,6 para 71,6). Estes resultados estão de acordo com o ensaio de laboratório realizado por Costa *et al.* (2011), que verificaram que a cor clara (claridade) da madeira de Marupá tornou-se bem mais escurecida após o ataque do fungo de podridão parda ( $L^*$  de 55,95 para 31,07), e sofreu pequeno escurecimento após o ataque do fungo de podridão branca ( $L^*$  de 55,95 para 51,88).

Estudo semelhante realizado por Stangerlin *et al.* (2013), ao analisarem a madeira de Cumaru, verificaram que tanto para a deterioração causada pelo fungo de podridão branca, quanto de podridão parda, o número de parâmetros colorimétricos significativamente modificados foi reduzido, ao realizar a comparação com as madeiras de Marupá e Jequitibá.

Para a o parâmetro analisado  $b^*$  e podridão branca, observa-se um aumento dos valores no final do ensaio, fato este que justifica a coloração mais amarelada deste tratamento. Estes dados corroboram com os resultados encontrados por Stangerlin *et al.* (2013) que para a podridão branca, verificaram que, apenas, a coordenada  $b^*$  foi influenciada, sendo esta significativamente elevada com a exposição, enquanto sob o ataque do fungo de podridão parda constatou-se que os parâmetros  $L^*$  e  $b^*$  apresentaram valores significativamente reduzidos

### **4.3 Ensaio de campo**

#### **4.3.1 Condições climáticas do período**

Por meio da Tabela 8, podem ser observadas as condições climáticas da região de realização do estudo de campo. Mostrando as condições normais de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação para a região, obtidos no ano de 2013, de acordo com os dados da Estação Meteorológica da UFSM.

Tabela 8 - Condições climáticas normais do local de realização do ensaio, para o ano de 2013

<b>Mês</b>	<b>Temperatura Média (°C)</b>	<b>Umidade relativa Média (%)</b>	<b>Precipitação Média (mm)</b>
Janeiro	23,5	74	102
Fevereiro	23,5	79	75
Março	20,5	80	202
Abril	19,1	80	183
Maio	15,5	84	184
Junho	13,7	88	89
Julho	13,4	81	121
Agosto	13,3	79	95
Setembro	17,6	77	75
Outubro	19,3	75	111
Novembro	22,4	73	284
Dezembro	25,5	72	97

(Fonte: Estação meteorológica da UFSM)

Oliveira et al. (1986) afirmaram que as condições de temperatura, umidade e precipitação, dentre outros fatores, são importantes na determinação dos microorganismos aptos a colonizar a madeira e decompô-la e têm marcante influência na velocidade da decomposição. Temperaturas entre 5 e 65°C permitem o desenvolvimento desses micro-organismos, entretanto são poucos os que crescem com temperaturas acima de 35 ou 40°C. No entanto, como diferentes espécies de organismos apresentam diferentes tolerâncias e pontos ótimos de temperaturas, este fator pode influenciar intensamente a composição de espécies das populações que colonizaram o material nos diferentes estágios seriais da degradação.

#### 4.3.2 Potencial de ataque fúngico

Pode-se observar na tabela abaixo (Tabela 9), a temperatura média dos meses de janeiro a dezembro de 2013, o número de dias com precipitação maior de 0,30mm por mês, e o potencial de ataque fúngico para cada mês do ano.



Tabela 9 - Médias de temperatura, número de dias por mês com precipitação superior a 0,30 mm e potencial de ataque fúngico para o ano de 2013.

<b>Mês</b>	<b>Temperatura Média (°C)</b>	<b>Dias de Precipitação</b>	<b>Potencial de ataque Fúngico</b>
Janeiro	23,5	8	2,57
Fevereiro	23,5	8	7,72
Março	20,5	9	9,99
Abril	19,1	10	3,07
Maio	15,5	7	2,43
Junho	13,7	6	3,50
Julho	13,4	10	3,39
Agosto	13,3	9	8,13
Setembro	17,6	11	8,42
Outubro	19,3	10	5,11
Novembro	22,4	13	15,85
Dezembro	25,5	5	9,83

Percebe-se que os meses de março, novembro e dezembro, foram os de maiores potenciais para ataque fúngico, devido a maiores temperaturas e maiores números de dias com precipitação superior a 0,30mm. Fatores essenciais para desenvolvimento dos fungos. Para Vivian (2011) os resultados foram o inverso dos dados encontrados neste estudo, onde os menores valores de PAF foram observados nos meses de março e novembro, os quais apresentaram a menor ocorrência de dias com precipitação pluviométrica igual ou superior a 0,30 mm, com apenas três e cinco dias, respectivamente no ano de 2010. Desta forma, nestes meses o autor evidencia a redução da probabilidade de ataques de fungos em períodos que apresentam menores taxas de precipitação pluviométrica.

O somatório do PAF foi de 80,13 no ano de 2013, foi elevado em relação ao encontrado por Vivian (2011), que em 2010 encontrou o valor do PAF de 74,4, correspondente à soma dos valores parciais de todos os meses do ano. Tavares *et al.* (2007), em levantamento realizado em Pelotas-RS, encontraram um valor de 63,3, que se aproxima daquele citado por Martins *et al.* (2003) para o território gaúcho.

Valores um pouco inferiores ao encontrado nesse estudo, foram aqueles obtidos por Martins *et al.* (2003), que estabeleceram valores de PAF na ordem de 70,0 para a maior parte do território gaúcho. Em outras regiões do Brasil, como Pará e Amazonas, os mesmos autores evidenciaram PAF de até 270.

#### 4.3.3 Perda de massa

A perda de massa (PM) observada para madeira de Canemaçu nas duas regiões da madeira consideradas: Periférica (RP) e Central (RC), submetidas ao campo de apodrecimento em duas situações distintas, Campo aberto e Floresta, é apresentada na Tabela 10. De acordo com esses valores, as estacas da região central do campo aberto foram as que apresentaram a maior PM, quando comparada as estacas da região central do campo floresta. A PM pode ser considerada relativamente baixa, pois os valores não ultrapassaram 15%, tanto para a região periférica como para região central da madeira, no decorrer das avaliações realizadas.

Tabela 10 - Perda de massa (%) das estacas de *Tetrorchidium rubrivenium* submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta.

Período de avaliação		Floresta		Campo aberto	
Coleta	Dias	RP	RC	RP	RC
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	30	1,7	1,8	1,7	2,6
3	60	2,3	3,0	3,5	3,4
4	90	2,7	3,1	3,3	4,5
5	120	3,9	4,1	4,2	4,4
6	150	3,5	3,6	5,6	5,0
7	180	4,5	4,1	7,1	6,0
8	210	5,4	5,7	8,4	8,1
9	240	7,3	8,4	9,7	9,9
10	270	9,4	10,0	9,5	10,8

RP = Região periférica (próximo à casca); RC = Região central (próximo à medula)

As amostras instaladas no campo aberto apresentaram a tendência de maiores perdas de massa em relação às amostras da floresta, o que corrobora com resultados encontrados por Marcondes et al. (2013) que avaliou a resistência natural de duas espécies, Marupá e Jequitibá, onde a espécie Marupá obteve a maior perda de massa para campo aberto. Estes resultados porem difere com os dados encontrados por Trevisan (2006) e Melo et al. (2010).

Com base na mesma classificação utilizada para os ensaios de apodrecimento acelerado conduzidos em laboratório (ASTM D-2017:05), a madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* classifica-se como altamente resistente à deterioração,

pois apresentaram perda de massa pouco superior a 10% durante o período de exposição a campo de apodrecimento.

O fato de maior perda de massa para o campo aberto pode ser explicado devido a uma maior exposição solar no ambiente de campo ocasionando processos mais bruscos de secagem e umedecimento, o que proporciona o surgimento de tensões de secagem que podem provocar rachaduras na madeira. As aberturas produzidas pelas rachaduras podem acumular umidade, criando deste modo, uma região de maior fragilidade ao ataque de fungos e, em sequência, aos térmitas (TREVISAN, 2006).

Os resultados obtidos da análise fatorial para o percentual de perda de massa para espécie estudada, para as duas regiões da madeira e para o local, encontram-se na Tabela 11. Ainda, na Tabela 11, pode-se observar que dentre os fatores e interações avaliados, apenas os parâmetros, Local e Tempo apresentaram diferença estatística significativa. Dentre estes, os parâmetros tidos como significativos pelo teste de F ( $0,01 < p < 0,05$ ), foram desdobrados e analisados separadamente na Tabela 12.

Tabela 11 - Análise fatorial para o percentual de perda de massa.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Local	1	61,898	61,898	37,153	0,001*
Região da madeira	1	1,719	1,719	1,032	0,311 <sup>ns</sup>
Tempo	9	1685,495	187,277	112,408	0,001*
Local x região	1	0,907	0,907	0,545	0,462 <sup>ns</sup>
Local x tempo	9	39,053	4,339	1,604	0,081 <sup>ns</sup>
Região x tempo	9	15,489	1,721	1,033	0,416 <sup>ns</sup>
Local x região x tempo	9	8,051	0,895	0,537	0,846 <sup>ns</sup>

\* significativo em nível de 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo

Pode-se observar na Tabela 12 a seguir, que no primeiro mês de exposição a campo de apodrecimento não ocorreu diferença significativa em uma média geral para perda de massa em função do tempo, não considerando campos distintos.

É possível analisar que até os sessenta dias de exposição a ensaio de campo de apodrecimento não houve diferença significativa em relação à perda de massa. Entre os sessenta (60) e cento e cinquenta (150) dias houve um aumento de perda de massa, porém não diferindo estatisticamente. A partir dos cento e oitenta (180) dias de exposição a perda de massa elevou chegando a 11,2%.

Tabela 12 - Teste Tukey após ANOVA fatorial para a perda de massa no tempo.

Período de avaliação (dias)	Média (%)	Probabilidade
0	0,0	A
30	1,95	A
60	3,0	Ab
90	3,4	B
120	4,1	Bc
150	4,4	Bc
180	5,4	C
210	6,9	D
240	8,8	E
270	9,9	E

Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey  $p > 0,05$ ).

Na Figura 5 (A, B, C e D) podem ser observadas as equações lineares ajustadas para estimativa da PM da região da madeira, em função do número de dias em que as amostras permaneceram instaladas em campo de apodrecimento.

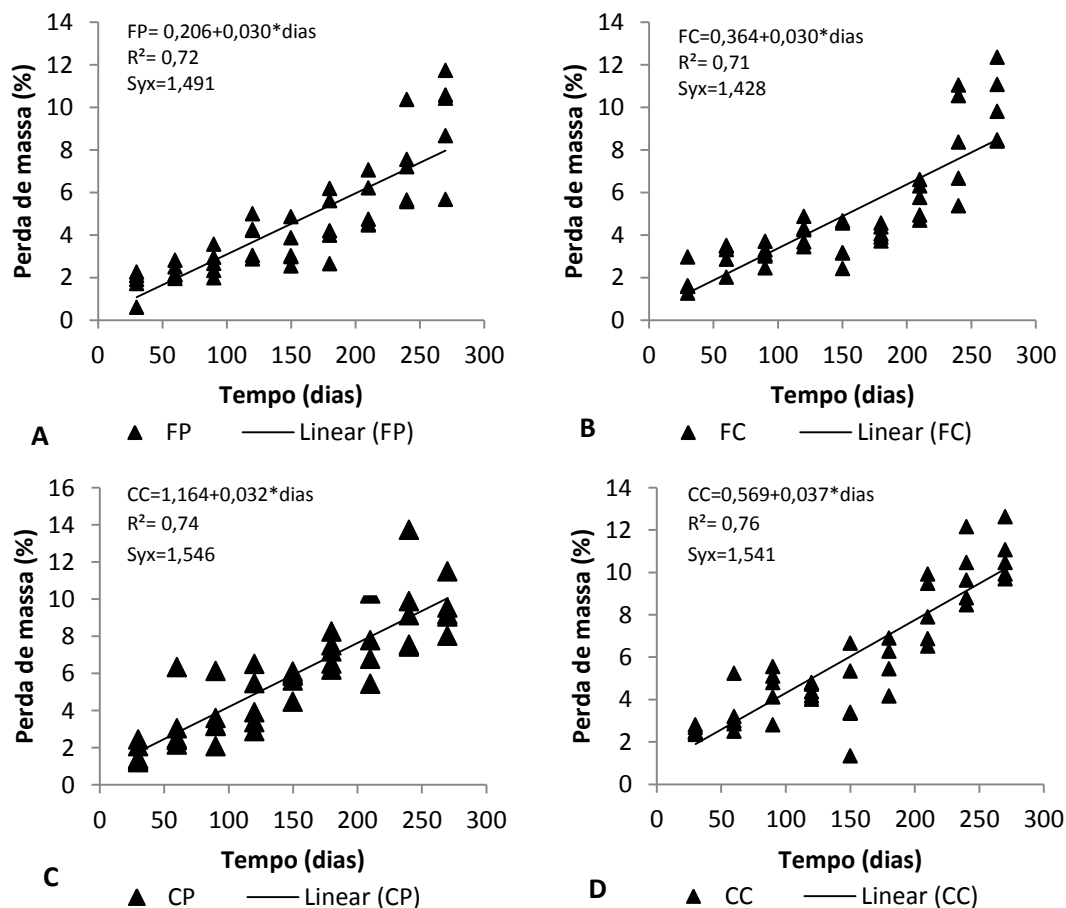


Figura 5 - Perda de massa das regiões avaliadas em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento. A- Região periférica- floresta, B- Região central- Floresta, C- Região periférica- campo aberto e D- região central- campo aberto \*\*\*significativo a 1% de probabilidade.

Ao analisar as equações expressas nos gráficos da Figura 10 observamos que todas apresentam equações significativas ( $p < 0,01$ ). Onde o maior coeficiente de determinação foi para o gráfico de letra D, onde apresentou 76%. Melo *et al.* (2010) também geraram equações para estimar o percentual de perda de massa em função do tempo para as amostras que permaneceram em campo. Onde todos os tratamentos geraram equações significativas ( $p < 0,01$ ). No referido estudo os maiores coeficientes de determinação foram observados para as madeiras de cerne e alborno, instaladas na floresta. Analisando as espécies separadamente, o açoita-cavalo foi a que apresentou os maiores coeficientes de determinação, entre 53,44 e 84,04%.

#### 4.3.4 Índice de deterioração

O índice de deterioração da madeira de Canemaçu, dividida em duas regiões da madeira, RP e RC, submetida ao campo de apodrecimento em duas situações distintas, campo aberto e floresta, pode ser observado na Tabela 13. Verifica-se que os índices de comportamento mais altos (que representam maior expectativa de durabilidade) correspondem às estacas do campo aberto. Contudo, todas as amostras apresentaram índices de comportamento considerados satisfatórios.

Pode ser observado na Tabela 13, que o índice de deterioração foi reduzindo-se com o decorrer do tempo de exposição ao ambiente. Entretanto, em relação à média, tanto os tratamentos (RP e RC) quanto os locais (Campo aberto e Floresta) não apresentaram deterioração intensa no final da avaliação, sendo esta considerada apenas moderada (próximo a 70).

Tabela 13 - Índice de deterioração das estacas de *Tetrorchidium rubrivenium* submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta.

Período de avaliação		Floresta		Campo		Média (%)	
Coleta	Dias	RP	RC	RP	RC	Floresta	Campo
1	0	100	100	100	100	100	100
2	30	98,6	99	100	100	98,8	100
3	60	97,6	98,4	99,2	99,4	98	99,3
4	90	97,2	97,2	98,4	98,4	97,2	98,4
5	120	96	96,2	96,4	96,8	96,1	96,6
6	150	95,2	94,8	95,6	95,6	95	95,6
7	180	94	93,6	94,4	94,6	93,8	94,5
8	210	91,6	91,8	92,4	92,4	91,7	92,4
9	240	84,2	84	84,8	81,6	84,1	83,2
10	270	78	78,4	77,2	78,8	78,2	78

RP = Região periférica (próximo a casca); RC = Região central (próximo a medula)

As estacas de *Tetrorchidium rubrivenium* apresentam índice de deterioração elevado, superiores a 90, até a oitava avaliação (210 dias) para ambos os tratamentos. Apenas a partir da nona avaliação (240 dias), as peças demonstraram comportamento intermediário com ataque leve a moderado.

Os corpos de prova instalados no campo aberto apresentaram-se mais degradados em comparação com os de Floresta para a espécie em estudo. Esse fato pode ser compreensível em função das variações climáticas em que as análises foram feitas, onde foram obtidos altos índices de exposição solar, alta temperaturas e precipitação direta.

A mudança de coloração nos corpos de prova, principalmente nos que foram instalados a campo aberto, apresentou aspecto envelhecido; com coloração mais escura, já as peças retiradas do interior da floresta apresentavam aspecto normal. Trevisan (2006) constatou a mesma tendência, de forma que a maioria dos corpos de prova procedente do campo aberto apresentou uma coloração mais escura, comparando-se com os não atacados e com os procedentes do campo de dentro da mata. O mesmo autor justifica que isto provavelmente pode ser explicado pela atuação da degradação fotoquímica, pois a intensidade solar neste ambiente é superior, pela ausência de árvores, à do ambiente de dentro da mata, assim, a incidência da radiação ultravioleta é direta.

Segundo Oliveira *et al.* (1986), a degradação fotoquímica é promovida pela radiação ultravioleta, que atua, principalmente, sobre a lignina, ocasionando como efeito perceptível a alteração da cor da madeira. Agentes atmosféricos, luz solar e

chuva, provocam alteração na cor e na textura da madeira, podendo chegar a comprometer as suas propriedades físicas e químicas. Uma decomposição química dos compostos da madeira por uma ação da radiação ultravioleta corresponde a uma deterioração superficial de até 2,5 mm abaixo da superfície da madeira, com consequências estéticas (CRUZ, 2001; SILVA e PASTORE, 2004).

Considerando o índice de deterioração isoladamente para avaliar a durabilidade natural da madeira da espécie ensaiada, observa-se que apenas o parâmetro local e o tempo foram significativos (Tabela 14). Foi detectada diferença significativa entre os campos de apodrecimento, o que indica que esta variável teve influência na deterioração para espécie.

Tabela 14 - Análise fatorial para o índice de deterioração.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Local	1	14,450	14,450	5,594	0,019*
Região da madeira	1	0,006	0,006	0,002	0,963 <sup>ns</sup>
Tempo	9	8476,511	1059,564	410,154	0,000*
Local x região	1	0,450	0,450	0,174	0,677 <sup>ns</sup>
Local x tempo	9	20,600	2,575	0,997	0,441 <sup>ns</sup>
Região x tempo	9	21,644	2,706	1,047	0,404 <sup>ns</sup>
Local x região x tempo	9	14,000	1,750	0,677	0,711 <sup>ns</sup>

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo.

Já para o período de avaliações (dias) houve diferença significativa, em que o índice de deterioração foi sendo reduzido significativamente no decorrer das mesmas, demonstrando que a deterioração das peças foi sendo intensificada com o passar do tempo (Tabela 15). Pode-se observar que até quarta avaliação (90 dias) não houve diferença estatística, e a partir da avaliação dos 180 dias para o término do ensaio houve diferença em todas as avaliações.

Tabela 15 - Comparação de médias para o índice de deterioração em função do período de avaliações (dias).

Período de avaliação (dias)	Média	Probabilidade
0	100	A
30	99,4	A
60	98,65	A
90	97,8	Ab
120	96,35	Bc
150	95,3	Cd
180	94,15	D
210	92,05	E
240	83,65	F
270	78,1	G

Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey  $p > 0,05$ ).

Em estudo realizado por Marcondes et al. (2013), com relação ao ambiente de deterioração, em campo aberto foram observados os maiores percentuais de perda de massa, bem como os menores índices de deterioração. Por outro lado, em estudos semelhantes descritos na literatura observou-se que o ambiente de floresta proporcionou maior perda de massa e menor índice de deterioração do que em campo aberto (Trevisan, 2006, Melo et al. ,2010, Vivian, 2011).

Para a correlação entre a perda de massa e o índice de deterioração (Figura 6) ao analisar o parâmetro estatístico R, percebe-se que, de modo geral, as correlações foram satisfatórias, observando que o melhor resultado de correlação  $r=0,889$  para região periférica da madeira no campo floresta.



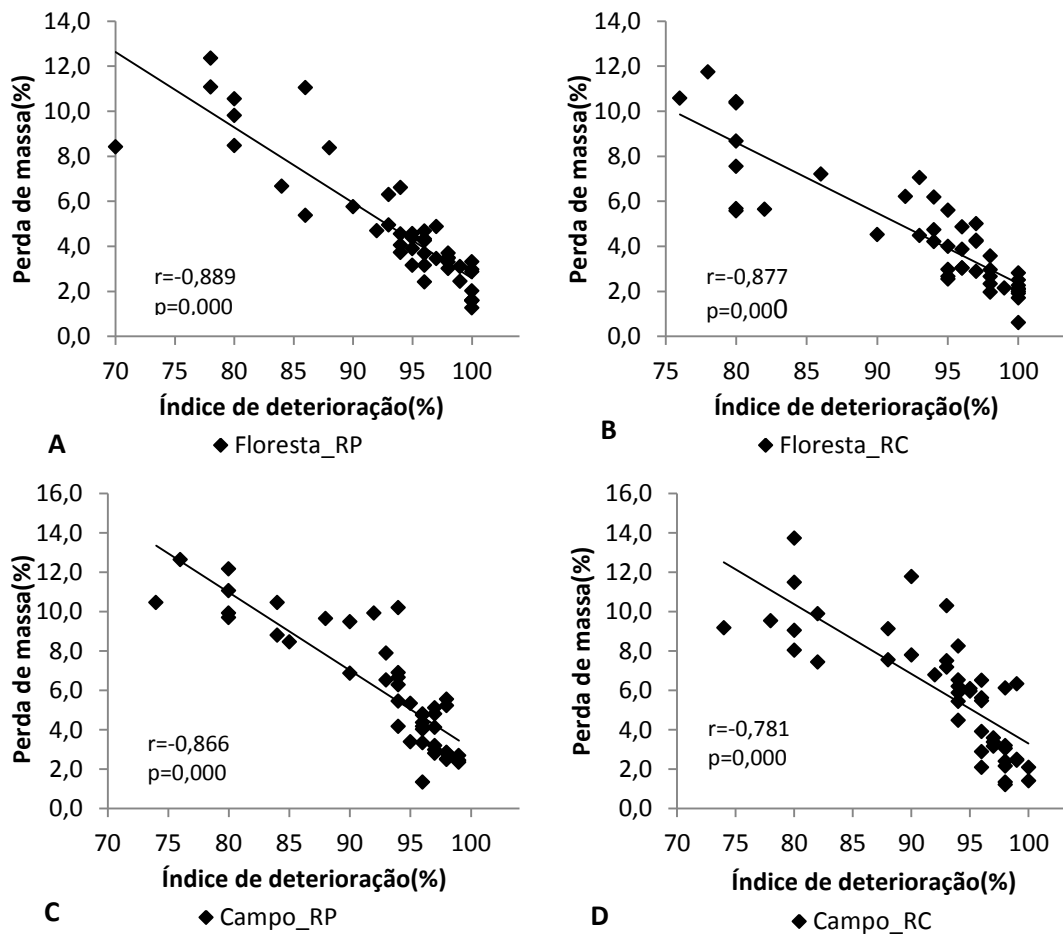


Figura 6 - correlação entre perda de massa e índice de deterioração. A- Região periférica- floresta, B- região central- Floresta, C- Região periférica - campo aberto e D- região central- campo aberto.

Em ensaio de campo de apodrecimento realizado por Melo et al. (2010), para três espécies florestais, as correlações para a perda de massa e o índice de deterioração para as espécies analisadas, detectou a existência de altos coeficientes de correlação ( $r$ ) entre estas variáveis (açoita-cavalo, 0,89; noqueira-pecã, 0,78; plátano, 0,86); entretanto, a análise subjetiva, atribuída por meio de notas, para o índice de deterioração proporcionou diferenças contrastantes em alguns casos, quando comparada a perda de massa.

#### 4.3.5 Solubilidade em Hidróxido de sódio

Os resultados encontrados neste ensaio servem como uma verificação da continuação da deterioração da madeira de Canemaçu ao longo do tempo em exposição ao campo de apodrecimento, ou seja, na comparação destes resultados com a evolução do ataque dos organismos xilófagos e fatores abióticos.

É possível analisar na tabela 16 que os valores do material solubilizado vão decaindo conforme aumenta o tempo em exposição a campo de apodrecimento. Para o campo floresta a região periférica e a região central começaram com 10% e 8,4%, respectivamente, de material solubilizado. Diminuindo para RP (8,5%) e RC (7,9%) com 150 dias de exposição a campo de apodrecimento. E para 270 dias de exposição decaiu para 5,6% e 5,8%, região periférica e região central respectivamente.

Tabela 16 - Solubilidade em hidróxido de sódio para três períodos de avaliação para ensaio de campo de apodrecimento.

Período de avaliação		Floresta		Campo aberto	
Coleta	Dias	RP	RC	RP	RC
1	0	10,0*	8,4*	10,0*	8,4*
6	150	8,5	7,9	9,5	9,1
10	270	5,6	5,8	5,7	5,3

RP = Região periférica; RC = Região central

Com a ação de organismos xilófagos na madeira sua estruturação sofre degradação, sofre desestabilização e suas características físico-mecânicas e anatômicas se alteram, quanto mais degradada após ensaios de campo de apodrecimento menor serão os teores solubilizados neste ensaio de solubilidade em hidróxido de sódio 1%. Conforme verificado na revisão de literatura ocorre à fotodegradação da lignina e dos extrativos, ocasionando escurecimento da madeira exposta, assim como a lixiviação dos extrativos como dos produtos fotodegradados, devido à ação da chuva e da umidade do solo (FEIST E HON, 1984).

#### 4.3.6 Flexão estática

Através da Tabela 17 podem ser observados os resultados para o módulo de ruptura (MOR) da madeira de Canemaçu, para região periférica e região central, submetida ao campo de apodrecimento em duas situações distintas, campo aberto e floresta.

Tabela 17 - Módulo de ruptura (Mpa) das estacas submetidas ao ensaio de campo: campo aberto e floresta

Período de avaliação		Floresta		Campo aberto	
Coleta	Dias	RP	RC	RP	RC
1	0	49.36	50.08	49.36	50.08
2	30	42.09	45.30	51.67	47.38
3	60	49.20	49.06	44.88	42.78
4	90	39.44	39.83	46.99	34.25
5	120	36.90	28.33	33.55	28.77
6	150	31.59	40.21	37.53	42.72
7	180	37.49	21.35	23.01	29.13
8	210	34.14	34.82	20.95	22.11
9	240	28.31	30.30	17.98	13.21
10	270	25.71	23.28	8.78	9.07

RP = Região periférica; RC = Região central

Como pode ser observado na tabela acima, a madeira apresentou a tendência de diminuição do MOR com o passar das avaliações, entretanto, com algumas oscilações durante o período. Com valores menores de MOR no final do ensaio para a região central da madeira do campo aberto, o que confere com a maior perda de massa. Já para Vivian (2011) em seu trabalho, o ambiente de exposição (campo e floresta) não apresentou comportamento distinto para o MOR, já para as avaliações houve redução significativa do mesmo, com gradativa perda de resistência ao longo do tempo de exposição ao campo de apodrecimento.

Trevisan et al. (2007), ao estudarem a redução de algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais em exposição a campo de apodrecimento em céu aberto e floresta por um período de 12 meses, concluíram que as condições diferenciadas de exposição ambiental influenciaram o percentual de redução destas características.

Como pode ser observada ainda, a madeira de Canemaçu apresentou valores de MOR semelhantes até a quarta avaliação (90 dias) para ambas as amostras, RP e RC. A partir da quinta avaliação (120 dias), a madeira referente à região periférica apresentou resistência superior à região central.

A análise de variância fatorial para MOR da madeira Canemaçu submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento pode ser observada na Tabela 18. Para o MOR as fontes de variação significativas foram o Local (campo de apodrecimento) e o tempo de exposição a campo de apodrecimento

Já as demais Fontes de variação não ocasionaram efeito significativo sobre o MOR.

Tabela 18 - Análise de variância fatorial para o MOR da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* submetidas ao ensaio de campo.

Fontes de variação	G L	SQ	QM	F	Probabilidade
Local	1	947.550	947.550	11.403	0.001*
Região da madeira	1	111.333	111.333	1.340	0.249 <sup>ns</sup>
Tempo	9	17466.032	2183.254	26.273	0.000*
Local x região	1	1.705	1.705	0.021	0.886 <sup>ns</sup>
Local x tempo	9	2515.291	314.411	3.784	0.081 <sup>ns</sup>
Região x tempo	9	693.664	86.708	1.043	0.406 <sup>ns</sup>
Local x região x tempo	9	1007.787	125.973	1.516	0.156 <sup>ns</sup>

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo.

É possível observar na tabela 19 que o período de avaliações (dias) houve diferença significativa, em que o módulo de ruptura (MPa) foi sendo reduzido significativamente no decorrer das mesmas, demonstrando que a resistência das peças foi sendo diminuída com o passar do tempo. Pode-se observar ainda que até quarta avaliação (90 dias) não houve diferença estatística.

Tabela 19 - Comparação de médias para o módulo de ruptura (MOR) em função do período de avaliações (dias)

Período de avaliação (dias)	MOR médio (MPa)	Probabilidade
0	49,72	a
30	46,61	a
60	46,48	a
90	40,12	ab
120	31,88	bc
150	38,01	b
180	27,75	cd
210	28,00	cd
240	22,45	de
270	16,71	e

Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey  $p > 0,05$ ).

Para o período de avaliações (dias) houve diferença significativa, com redução do MOR no decorrer das mesmas, demonstrando que a deterioração das peças foi sendo intensificada com o passar do tempo.

Na Figura 7 podem ser observadas as equações lineares ajustadas para estimativa do MOR (MPa) da madeira de Canemaçu em função do número de dias em que as amostras permaneceram instaladas em campo de apodrecimento. Conforme a Figura A e B, as equações geradas para estimativa do MOR em função do número de dias de exposição a campo aberto para a madeira de Canemaçu apresentaram bons ajustes, para região central do campo aberto, se obteve

coeficiente de determinação de  $R^2$  0,67 e para Região periférica  $R^2$  0,80, com coeficientes de determinação aceitáveis e significativos a 1% de probabilidade de erro.

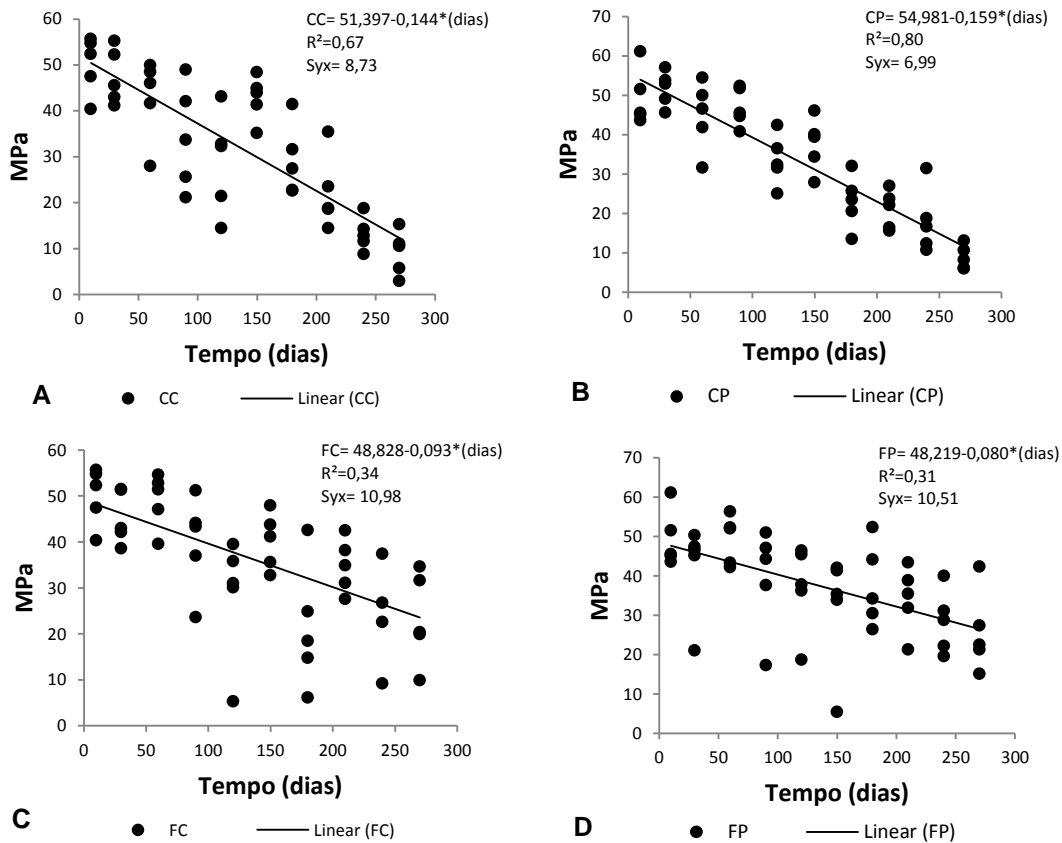


Figura 7 - Equações lineares ajustadas em função do MOR (MPa) e o tempo em que as amostras foram avaliadas em campo de apodrecimento. A- Região central- campo aberto, B- Região periférica- campo aberto, C- região central- floresta e D região periférica- floresta. \*\* significativo a 1% de probabilidade.

O módulo de elasticidade (MOE) para madeira de Canemaçu apresentou a mesma tendência encontrada para MOR, onde foi sendo reduzido com o passar do tempo, porém com períodos de oscilação na resistência apresentada pela madeira. Aprile *et al.* (1999) justificam que a decomposição normalmente não é contínua, que o curso de seu tempo deve ser representado como uma sucessão de fases em ampla atividade, com intervalos de inibição, devido à limitação ou inibição completa de processos físicos, químicos ou biológicos no processo de decomposição.

Pode-se observar que redução da rigidez da madeira não apresentou tendência definida em função do Local (campo aberto e floresta) em que a mesma foi exposta, entretanto em relação à região da madeira analisada a região periférica

apresentou valores de MOE superiores a região central da madeira, conforme é possível analisar na Tabela 20 a seguir :

Tabela 20 - Módulo de elasticidade (Mpa) das estacas da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* submetidas ao ensaio de campo: campo aberto e floresta.

Período de avaliação		Floresta		Campo aberto	
Coleta	Dias	RP	RC	RP	RC
1	0	6557.54	6266.71	6557.54	6266.71
2	30	6318.34	5739.59	6019.86	5948.72
3	60	5815.39	5879.90	6125.34	6239.95
4	90	6233.58	5640.08	6621.33	5458.00
5	120	5818.14	5295.34	5754.00	5383.97
6	150	5287.43	5605.52	5449.79	5945.79
7	180	5552.13	4926.97	4728.12	4989.45
8	210	5088.33	4565.08	4894.97	4603.35
9	240	4989.63	4426.35	4657.46	3949.23
10	270	4792.09	4344.10	4375.56	3798.49

RP = Região periférica; RC = Região central

Através da tabela acima é possível analisar que o MOE para a região central tanto do campo aberto como floresta é inferior à região periférica para ambos os campos de modo geral. A redução da rigidez da madeira apresentou tendência definida em função do ambiente em que a mesma foi exposta, é possível verificar que houve redução na resistência dos tratamentos referentes ao campo aberto (RP, RC) em relação à resistência das amostras da Floresta que foi superior.

O módulo de elasticidade (MOE) foi sendo reduzido com o passar do tempo, porém com períodos de oscilação na resistência apresentada pela madeira de Canemaçu, apresentando valores de MOE semelhantes até a quinta avaliação (120 dias) para ambos os tratamentos. A partir da sexta avaliação (150 dias), os tratamentos apresentaram um decréscimo na elasticidade ao longo do tempo em que a madeira esteve exposta ao ambiente com menores oscilações.

Conforme é possível verificar na Tabela 21, a análise de variância fatorial para MOE da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento, obteve significância para a região da madeira analisada e o tempo.

Tabela 21 - Análise de variância fatorial para MOE da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* submetidas ao ensaio de campo.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Local	1	294973.529	294973.529	0.590	0.444 <sup>ns</sup>
Região da madeira	1	4735125.730	4735125.730	9.466	0.003*
Tempo	9	71318494.406	8914811.801	17.821	0.000*
Local x região	1	169687.762	169687.762	0.339	0.561 <sup>ns</sup>
Local x tempo	9	3555984.655	444498.082	0.889	0.528 <sup>ns</sup>
Região x tempo	9	6005538.046	750692.256	1.501	0.162 <sup>ns</sup>
Local x região x tempo	9	294973.529	294973.529	0.590	0.444 <sup>ns</sup>

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo

Na tabela 22 pode-se analisar a comparação de médias para o módulo de elasticidade (MOE) em função do período de avaliações (dias). Onde se percebe que entre zero (0) até cento e cinquenta dias (150), equivalente a sexta avaliação o módulo de elasticidade não teve diferença significativa, mesmo diminuindo sua resistência.

Tabela 22 - Comparação de médias para o módulo de elasticidade (MOE) em função do período de avaliações (dias).

Período de Avaliação (dias)	MOE médio (MPa)	Probabilidade
0	6412,12	a
30	6006,62	a
60	6015,14	a
90	5988,99	a
120	5562,86	ab
150	5572,13	ab
180	5049,16	bc
210	4787,93	cd
240	4505,66	cd
270	4327,56	d

Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey  $p > 0,05$ ).

Para o período de avaliações (dias) houve diferença significativa, com redução do MOE no decorrer das mesmas, demonstrando que a deterioração das peças foi aumentando com o passar do tempo.

Na Figura 8 podem ser observadas as equações lineares ajustadas para estimativa do MOE da madeira de Canemaçu, em função do número de dias em que as amostras permaneceram instaladas em campo de apodrecimento.

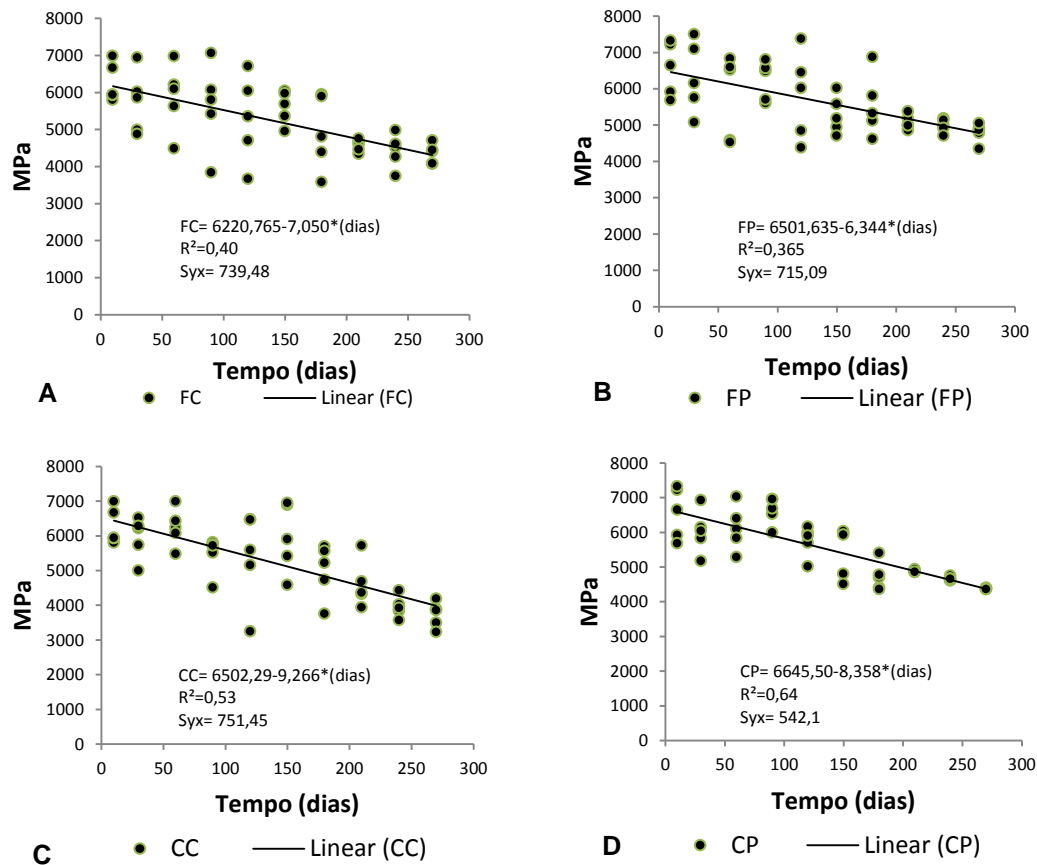


Figura 8 - Equações lineares ajustadas em função do MOE (MPa) e o tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento. A- Região central- floresta, B- Região periférica-floresta, C- Região central- campo aberto e D- região periférica- campo aberto. \*\* significativo a 1% de probabilidade.

Conforme é possível analisar as equações lineares para o MOE tiveram melhores coeficientes de determinação para o campo aberto nas duas regiões, central ( $R^2=0,53$ ) e periférica ( $R^2=0,64$ ). Conferindo com as equações geradas para o MOR, onde os melhores coeficientes de determinação também foram para o campo aberto.

#### 4.3.7 Colorimetria para ensaio de campo

Após análise de variância para os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , observou-se que não houve diferença estatística entre a região periférica e central e entre os planos tangenciais e radiais da madeira. Considerando para análise apenas o local, campo aberto e floresta e a posição de leitura de medição no corpo de prova. Na tabela 23 a baixo pode-se observar os valores expressos para colorimetria, em relação à



posição de leitura no corpo de prova em função dos dias, para as amostras submetidas à floresta.

Tabela 23 - Médias dos parâmetros L\*, a\* e b\* para as amostras de *Tetrorchidium rubrivenium* nas três posições de medição colorimétrica e na variação do tempo, submetidas ao ensaio de campo, ambiente floresta.

Posição	P \ Dias	Floresta			Média
		0	150	270	
Inferior	L*	86.47 A	57.48 B	63.32 C	69.09 a
	a*	0.67 A	5.03 B	4.87 C	3.52 a
	b*	25.31 A	16.86 B	20.13 C	20.77 ab
Central	L*	86.55 A	60.23 B	54.67 C	67.15 a
	a*	0.78 A	4.43 B	1.87 C	2.36 b
	b*	23.58 A	19.02 B	17.24 C	19.95 a
Superior	L*	86.72 A	71.49 B	61.51 C	73.24 b
	a*	0.57 A	4.09 B	3.47 C	2.71 b
	b*	24.80 A	26.31 B	14.20 C	21.77 b

Letras maiúsculas diferentes na linha diferem estatisticamente, letras minúsculas na coluna diferentes diferem estatisticamente.

Ao verificar as médias na tabela acima observamos que houve diferença significativa para todos os parâmetros (L\*, a\* e b\*) em relação a posição da madeira (inferior, central e superior), em relação ao tempo que foi analisado. Da mesma forma as médias finais entre L\* (69,09) inferior e L\* (67,14) central não houve diferença significativa, mas entre esses dois e o superior houve diferença L\* (73,24).

Considerando apenas a posição inferior para L\* na avaliação referente aos 5 meses de exposição a campo (150 dias) teve um decréscimo do parâmetro luminosidade (L\*) seguido de um acréscimo no final da avaliação. A mesma tendência seguiu o parâmetro b\* (azul-amarelo). Para o parâmetro a\* os valores aumentaram de 0,67 (0 dias) para 4,87 (270 dias). Com a diminuição do parâmetro L\* a madeira tende a escurecer mais em relação da condição natural. Mattos *et al.* (2013) também obtiveram esses resultados, onde o comportamento dos parâmetros colorimétricos (L\*, a\*, b\*) para as três espécies de madeira estudadas, exposta em dois locais de campo, se teve um escurecimento das amostras das madeiras devido a diminuição de L\* em função do tempo de exposição.

Na posição central de avaliação obteve-se o menor resultado para o parâmetro L\*, onde se entende maior escurecimento da madeira, devido a condição

de umidade do solo e umidade relativa do ar, já que essa posição enquadrasse na zona de afloramento do corpo de prova, entre o solo e a atmosfera. Mattos *et al.*(2013) sugere que rápida descoloração da madeira está associado com os elevados níveis de umidade relativa do ar do local do estudo, em todos os tempos de exposição (acima de 80%), bem como os níveis elevados de chuva e luz solar durante a maior parte do tempo.

Para posição superior da madeira, exposta as condições climáticas, em área de sombreamento devido ao dossel da floresta de *Pinus sp*, obteve-se uma diminuição do parâmetro  $L^*$ , o que ocorreu para o parâmetro  $b^*$  igualmente, para o parâmetro  $a^*$  obteve-se um aumento seguido de uma baixa diminuição dos valores, o que representa maior valor do pigmento vermelho na amostra, indicando o escurecimento das amostras expostas devido a oxidação da madeira. Peres *et al.* (2013) observaram em estudo semelhante a este que quanto ao fator campo, considerando os valores de  $L^*$  e na floresta, houve menor absorvância de luz e por consequência, menor fotodegradação da madeira por incidência de raios UV.

Em estudo realizado por Delucis *et al.* (2013), em campo de apodrecimento em três situações distintas, campo aberto, campo floresta e campo banhado, observaram que a madeira submetida ao campo floresta apresentou cor mais clara, mais amarelada e mais viva do que a madeira exposta ao campo aberto. Esses resultados podem ser atribuídos ao micro-clima formado nos campos de apodrecimento experimentados. Desse modo, o isolamento térmico e a menor exposição aos raios solares e a chuva proporcionados pelas árvores de *Pinus elliottii* podem estar associados à tonalidade evidenciada na madeira exposta ao campo floresta.

Na tabela 24 a seguir pode-se observar os valores dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , em relação à posição de leitura no corpo de prova em função dos dias, para as amostras submetidas ao campo aberto.

Tabela 24 - Médias dos parâmetros L\*, a\* e b\* para as amostras de *Tetrorchidium rubrivenium* nas três posições de medição colorimétrica e na variação do tempo, submetidas no ensaio de campo, ambiente campo aberto.

Posição	P \ Dias	Campo			Média
		0	150	270	
Inferior	L*	86.47 A	61.25 B	55.81 B	67.84 a
	a*	0.67 A	4.53 B	4.87 C	3.36 a
	b*	25.31 A	19.27 B	16.69 C	20.42 a
Central	L*	86.55 A	57.33 B	57.84 B	67.24 a
	a*	0.78 A	5.56 B	4.38 C	3.57 a
	b*	23.58 A	20.93 B	20.78 C	21.76 a
Superior	L*	86.72 A	60.42 B	64.40 B	70.51 b
	a*	0.57 A	3.75 B	2.82 C	2.38 b
	b*	24.80 A	14.76 B	22.96 C	20.84 a

Letras maiúsculas diferentes na linha diferem estatisticamente, letras minúsculas na coluna diferentes diferem estatisticamente.

Para a posição das amostras que ficaram enterradas (inferior), observou-se um decréscimo para os parâmetros L\* (escurecimento) e b\* (indicando aumento dos pigmentos de coloração azul nas amostras desta posição) e para a\* obteve-se um acréscimo do parâmetro (maior pigmentação vermelha). Já para a posição central o parâmetro L\* diminuiu tendo pouca oscilação, o parâmetro a\* aumentou em 150 dias e após perdeu coloração para 270 dias. No parâmetro b\* diminuiu oscilando o mínimo (prevalecendo a coloração amarelada, já que a perda do parâmetro foi pouca de 23,58 para 20,78).

Delucis et al. (2013) ao analisarem as mesmas posições das amostras observaram que a região exposta apresentou uma cor com tonalidade mais avermelhada a região de linha de afloramento (central) mais amarelada e a região enterrada mais viva.

Na posição onde a madeira fica exposta as condições do ambiente (superior), observou-se a diminuição dos valores, com pequena oscilação dos parâmetros L\* e b\*, e uma diminuição de valor para a\* em relação às outras posições (inferior e central) o que indica a coloração acinzentada que as amostras resultaram no decorrer da exposição ao campo aberto. Estes resultados corroboram com os encontrados por Mattos et al. (2013) onde as amostras de madeira expostas ao ar livre apresentaram maior escurecimento. Todas as amostras de madeira expostas

ao desgaste natural mostrou uma redução de coordenar  $b^*$ , principalmente nas amostras expostas ao ar livre.

De acordo com George et al. (2005), as alterações colorimétricas devido a agentes intempéries estão condicionadas a fatores atmosféricos como a umidade relativa do ar e aos níveis de exposição a luz solar e chuvas. Dessa maneira, é possível associar a cor da região exposta à maior incidência de luz ultravioleta e visível oriundas do sol.

## 5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo pode-se concluir que:

- A madeira de Canemaçu pode ser classificada como moderadamente resistente aos fungos da podridão branca e podridão parda, em que a madeira da região periférica é mais resistente que a da região central para a podridão parda.
- Para os resultados referentes ao ensaio a campo é possível concluir que é necessário ter o cuidado na utilização desta madeira, devido à diferença de resistência entre as regiões da madeira analisada, e as propriedades mecânicas diminuídas com passar do tempo.
- Comparando-se os resultados obtidos nos testes de laboratório e de campo para ambas as regiões da madeira analisadas, conclui-se que ambas não apresentam condições de serem expostas a ou em contato com o solo.
- No que se refere à alteração da cor da madeira, percebeu-se um alteração de coloração ao longo de exposição a campo de apodrecimento, tornando-se mais acinzentada na região exposta.
- Sugere-se a utilização da madeira de Canemaçu em ambientes cobertos e protegidos de intempéries. Os resultados em testes a campo demonstraram que as peças em campo coberto com Floresta de Pinnus obtiveram menos interferências na mudança de coloração.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, T. F. **Estratégias de melhoramento para a obtenção de madeira de qualidade para laminação e serraria**. 2009. Disponível em: <<http://www.celsofoelkel.com.br>>. Acesso em: 7 jul.2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7990**: madeira – determinação do material solúvel em hidróxido de sódio a 1%. Rio de Janeiro: ABNT; 2001.

AUTRAN, C.S.; GONÇALEZ, J.C. Caracterização colorimétrica das madeiras de muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.) e de seringueira (*Hevea brasiliensis*, clone Tjir 16 Müll Arg.) visando à utilização em interiores. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 445-451.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1413**: standard test method for wood preservatives by laboratory soil-block cultures. Philadelphia, p. 119-121. 1994.

\_\_\_\_\_. **ASTM D 2017**: standard test method for accelerated laboratory test of natural decay resistance of wood. Philadelphia, 2005. 5p.

ALVES, M.V.S. et al. Resistência natural de seis espécies de madeiras da região amazônica a fungos apodrecedores em ensaios de laboratório. **Revista Ciência Florestal**. Santa Maria. v. 16. n. 1. p. 17-26, fev./mar. 2006.

BACKES, P.; IRGANG, B. **Mata atlântica**: as árvores e a paisagem. Porto Alegre: Paisagem do Sul, 2004. 396 p.

BRAND, M. A.; DA COSTA, V. J.; BITTENCOURT, E.; NEVES, M. D. **Avaliação energética de resíduos de madeira estocados nas indústrias da região de Lages, Santa Catarina**. UNIPLAC/Tractebel Energia. 05 pp. (s/d). Disponível em: <<http://www.solumad.com.br/artigos/201011171814361.pdf>>. Acesso em: 15 mar.2013.

BRAND, Martha Andreia Brand.; MUÑIZ, Graciela Inês Bolzon de. Influência da época de colheita e da estocagem na composição química da biomassa florestal. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, p. 66-78, 2012.

CALEGARI, L.;GATTO, D.A.; SANTINI, E. J. Efeitos da temperatura de secagem sobre algumas propriedades em madeira juvenil e adulta de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 99-106, 2002.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, n. 71, set.2001.

CARNEIRO, J.S.; EMMERT, L.; STERNADT, G.H.; MENDES, J.C.; ALMEIDA, G.F. Decay susceptibility of Amazon wood species from Brazil against white rot and brown rot decay fungi. **Holzforschung**, Berlin, v.63, n.6, p.767-772, 2009.

COSTA, A. F. et al. Durabilidade de madeiras tratadas e não tratadas em campo de apodrecimento. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 12, n. 1, p. 7-14, 2005.  
 CRUZ, H. **Patologia, avaliação e conservação de estruturas de madeira**. II Curso Livre Internacional de Patrimônio, Associação Portuguesa dos Municípios com Centro Histórico; 73 Fórum UNESCO Portugal, Santarém, Fevereiro/Março 2001, 9 p. Disponível em:  
 <<http://mestradoreabilitacao.fa.utl.pt/disciplinas/jbastos/HCruzpatol%20aval%20e%20conserv%20madeiras%20SANTAREM.pdf>>. Acesso em: 10 ago.2013.

DANIEL, T.; HIRSCH, M. S.; MCCLELLAND, K.; et al.. Finding the balance between aesthetics and durability. **J. C. T. Coating Tech.**, Blue Bell, v. 1, n. 9, p. 42-48, 2004.

DENARDI, L. **Anatomia e flexibilidade do caule de quatro espécies lenhosas para o manejo biotécnico de cursos de água**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

DELUCIS, R. A.; BELTRAME R.; GATTO D. A. Avaliação colorimétrica da madeira de *Corymbia citriodora* Biodegrada em ensaio de campo. **XV ENPOS - Encontro de Pós-Graduação**. UFPEL, Pelotas- RS, 2013.

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

FEIST, W. C.; HON, D. N. S. Chemistry of weathering e protection. In: ROWELL, R.M. **The chemistry of solid wood**. Washington: Am. Chem. Soc, 1984. 614 p.

FERREIRA, A. L.; SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W. **Determinação das regiões dos lenhos juvenil e adulto pela mensuração do comprimento das fibras de Hevea brasiliensis**. Disponível em:  
 <from:[http://prope.unesp.br/xxi\\_cic/27\\_22990637818.pdf](http://prope.unesp.br/xxi_cic/27_22990637818.pdf)>. Acesso em 08 nov.2010.

GEORGE, B.; SUTTIEB, E.; MERLIN, A.; DEGLISE, X. Photodegradation and photostabilisation of wood: the state of the art. **Polymer Degradation and Stability**. v. 8, n.2, p. 268-274, 2005.

GUMA, R. L. **Propriedades tecnológicas da madeira de *Tetrorchidium rubrivinium* Poeppig & Endlicher**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

HON, D.N.-S. **Weathering and photochemistry of wood**. In: HON, D.N.-S.; SHIRAISHI, N. **Wood and cellulosic chemistry**. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 2001. 928 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Biodeterioração da madeira em edificações**. São Paulo, 2001. 1-47 p.

- JESUS, M.A.; MORAES, J.W.; CARDIAS, M.F.C.; ABREU, R.L.S. Durabilidade natural de 46 espécies de madeira Amazônica em contato com o solo em ambiente florestal. **Scientia florestalis**. Ipef-Esalq USP, v. 54, p.81-92, 1998.
- KONICA MINOLTA. **Precise color communication**: color control from perception to instrumentation. Japan: KonicaMinolta Sensing Inc., 2007.
- LEPAGE, E.S. Método sugerido pela IUFRO para ensaios de campo com estacas de madeira. **Preservação de madeiras**, v.1, n. 4, p. 205-216, 1970.
- LUNZ, A. M. **Degradação da madeira de seis essências arbóreas causadas por Scolytidae (Coleóptera)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001. 160p.
- MATTOS, B.D.; CADEMARTORI, P.H.G.; LOURENÇON, T.V.; GATTO, D.A. Colour changes of Brazilian eucalypts wood by natural weathering. **International Wood Products Journal**, v.0, n.0, 2013.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P.; **Fichas de características das madeiras brasileiras**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Madeiras, 1989.
- MENDES, A de S.; ALVES, M. V da S. **A degradação da madeira e sua preservação**. Brasília, IBDF/DPq-LPF. 1988. 5-53 p.
- MELO, R.R. de.; STANGERLIN, D.M.; SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R.; GATTO, D.A.; SUSIN, F. Durabilidade natural da madeira de três espécies florestais em ensaios de campo. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 357-365, 2010.
- MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. UFPR. Paraná, 2005. 1-38 p, (Apostila).
- MORESCHI, J. C. **Biodegradação da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. UFPR. Paraná, 2011. 1-28 p, (Apostila).
- OLIVEIRA, J. T; et al. Resistência natural da madeira de sete espécies de eucalipto ao apodrecimento. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n. 6, p. 993-998, nov./dez. 2005.
- PASSIALIS, C.; KIRIAZAKOS, A. Juvenile and mature wood properties of naturally-grown fir trees. **Holz Roh Werkst**, n. 62, p.476–478, 2004.
- PERES, L. L.; DELUCIS, R.Á. ; PERES, M. L.; GATTO, D. A.; Colorimetria da madeira de *Eucalyptus botryoides* submetida a campo de apodrecimento. **XXII Congresso de iniciação científica da Universidade federal de Pelotas**. Pelotas-RS, 2013.
- REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Governo do Estado do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 1988. 528p.



- RUSCHEL, A. P.; GUERRA, M. P.; MOERSCHBACHER, B. M.; NODARI, R. O. Valuation and characterization of the timber species in remnants of the Alto Uruguay River ecosystem, southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 217, p. 103–116, 2005.
- RUSCHEL, A. P.; NODARI, R. O.; MOERSCHBACHER, B. M. Woody plant species richness in the Turvo State park, a large remnant of deciduous Atlantic forest, Brazil. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, p. 1699–1714, 2007.
- SANTINI, E.J. **Biodeterioração e preservação da madeira**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1988. 125p.
- SILVA, J. C.; MATOS, J. L. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; EVANGELISTA, W. V. Influência da idade e da posição radial na flexão estática da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v. 29, n.5, p.795-799, 2005.
- SILVA, J. O.; PASTORE, T. C. M. Fotodecomposição e proteção de madeiras tropicais. **Floresta e Ambiente**, Brasília, DF, v. 11, n. 2, p. 7-13, ago./dez. 2004.
- SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W. ; SANSÍGOLO, C. A. Composição química da madeira de *Eucalyptus citriodora* em função das direcções estruturais. **Silva Lusitana**, Lisboa. Portugal, v.14, n. 1, p. 113 - 126, 2006.
- STANGERLIN, D.M. **Monitoramento de propriedades de madeiras da Amazônia submetidas ao ataque de fungos apodrecedores**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade de Brasília, Brasília, 2012. 259p.
- Souza F. et al. Resistência natural e alteração da cor da madeira de *Machaerium scleroxylon* Tul. submetida ao ataque de fungos apodrecedores. **Scientia florestalis** Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 449-457, set. 2010.
- TREVISAN, H. **Degradação natural de toras e sua influência nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006. 56p.
- TREVISAN, H. et al. Degradação natural de toras de cinco espécies florestais em dois ambientes. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 1, p. 33-41, jan./mar. 2007.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR). **Laboratório de química da madeira**: fichas para prática de análises químicas da madeira. Curitiba, 2008. p. 1-16. Disponível em: <[http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/FICHAS\\_AULAS.pdf](http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/FICHAS_AULAS.pdf)>.
- VIVIAN, M.A. **Resistência biológica da madeira tratada de Eucalyptus cloeziana em ensaios de laboratório e campo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011. 104p.
- WEBSTER, G. L. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, St. Louis, v. 81, n. 1. 1994.