

KARINE RAMOS DA ROSA BELLON

**"MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA DE TRÊS ESPÉCIES DE FLORESTAS
PLANTADAS PELO PROCESSO VAP HolzSysteme®".**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke
Co-orientador: Dr. Celso Garcia Auer
Co-orientador: Prof. Dr. Alan Sulato de Andrade

CURITIBA
2013

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Bellon, Karine Ramos da Rosa

Modificação térmica da madeira de três espécies de florestas plantadas pelo processo VAP HolzSysteme® / Karine Ramos da Rosa Bellon. – 2013
101 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke

Coorientadores: Dr. Celso Garcia Auer

Prof. Dr. Alan Sulato de Andrade

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 18/12/2013.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais

1. Madeira - Qualidade. 2. Madeira - Química. 3. Pinus taeda. 4. Eucalyptus grandis. 5. Teca (árvore). 6. Teses. I. Klitzke, Ricardo Jorge. II. Auer, Celso Garcia. III. Andrade, Alan Sulato de. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.81




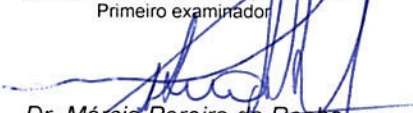
Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da
Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER
Defesa nº. 1002

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) mestrando(a) *Karine Ramos da Rosa Bellon* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA DE TRÊS ESPÉCIES DE FLORESTAS PLANTADAS PELO PROCESSO VAP HolzSysteme®**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.

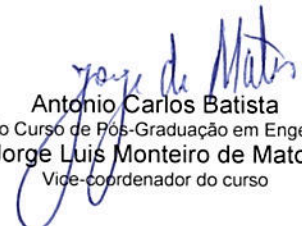



Dr. Djeison Cesar Batista
Universidade Federal do Espírito Santo
Primeiro examinador


Dr. Márcio Pereira da Rocha
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador


Dr. Ricardo Jorge Klitzke
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 18 de dezembro de 2013.


Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Jorge Luis Monteiro de Matos
Vice-coordenador do curso

*A Deus, nosso Pai eterno. Aos meus pais Lucindo e Mara. Às minhas
irmãs Caroline, Kellen e Karla.
Aos meus filhos Sabrina e João Pedro...*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as minhas conquistas, sem a fé nele e sua atenção especial em iluminar e proteger meus caminhos, nada disso seria possível.

Aos meus pais e irmãs, por todo apoio, ajuda, paciência e compreensão nesse período de tantas mudanças nas nossas vidas. Entendendo que tal trabalho foi realizado com o intuito de obter êxito sobre essa conquista para minha vida acadêmica, profissional e pessoal.

À família que construí nos dois anos de curso, juntamente com Pedro Henrique Riboldi Monteiro, Sabrina Bellon Inglês e João Pedro Bellon Riboldi Monteiro. Sempre me incentivando, apoiando e ajudando a persistir e continuar nessa luta para assim conquistá-la.

Ao meu orientador, Prof. Ricardo Jorge Klitzke, que nesses anos de orientação serviu não somente para orientar, mas sim como amigo e, principalmente, como pai (com a licença do meu, dedico essas singelas palavras), me ajudando tanto na árdua tarefa de crescer, prosperar e vencer na área da pesquisa acadêmica, como na área profissional e, por fim, como ser uma pessoa melhor em minha profissão.

Aos meus co-orientadores, pela amizade e co-orientação em áreas que aos poucos começo a adquirir mais experiência, tornando a Biodeterioração e a Química da Madeira tópicos de grande interesse de estudo para este trabalho e para minha vida profissional.

Aos amigos que mesmo distantes apoiaram de alguma forma, Fernando da Silva, Tabata Zanetti, Camila Bellon, Camila Gelbcke, Renato Robert, Vergílio Neto.

Aos colegas de curso de pós-graduação, os quais por diversas vezes nos encontramos e trocamos ideias nos corredores e cafezinhos.

Aos técnicos do Laboratório de Patologia Florestal da Embrapa Florestas, Sr. Davi Veiga, o qual sempre está animado e pronto para ajudar, e Sra. Caroline Bühner, pela ajuda na condução dos experimentos.

Aos técnicos da UFPR que atuam nos Laboratórios de Usinagem da Madeira, Painéis de Madeira, Química da Madeira e Tecnologia da Madeira, respectivamente, Sr. Vitor Daniel Herreira, Sr. Ademir José Cavalli, Sra. Eliane Lopes da Silva e Srta. Mariuci Torres Santos.

Aos alunos de graduação que estagiaram no Laboratório de Secagem da Madeira da UFPR, Cristian Greca Turkot, Emanuel Sacowicz e Belika Iuri Mori, os quais pude contar com o apoio e auxílio durante a coleta de dados e consolidar uma amizade. Ao amigos da pós Pedro Lício Loiola, Reinaldo Guina, Rafael L. Braz e Vinícius Castro e Rosilani Trianoski (hoje professora) , que por muitas vezes me ajudaram, aconselharam e enviaram trabalhos para edificação do conhecimento na área de tecnologia.

À TWBrazil, na pessoa do Sr. Eugenio Rilling, empresa que forneceu todo o material e o equipamento do estudo, sem os quais nada teria sido realizado.

Aos demais professores e servidores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da UFPR, que somaram muito com suas vivências e contribuíram para o desenvolvimento de meu conhecimento na área de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

À Embrapa Florestas, pelo suporte para desenvolvimento deste trabalho.

Ao Governo Federal, pela concessão da bolsa REUNI.

A todos aqueles que não citei, mas fizeram parte deste trabalho de alguma forma...

*“Ó Senhor Deus,
o rei está muito feliz
porque lhe deste força;
está muito contente
porque o tornaste vitorioso.
Tu satisfizeste
Os seus mais profundos desejos
E lhe deste o eu ele pediu.
Tu o recebeste
Com bênçãos preciosas
E puseste uma coroa de ouro
Na sua cabeça.
O rei pediu vida,
E tu lhe deste vida longa,
Sem fim.
A glória do rei é grande
Porque Tu o ajudaste”.*

Salmo 21:1-5 (NTLH)

RESUMO

A modificação térmica confere a madeira melhorias na estabilidade dimensional, higroscopicidade e durabilidade natural. No entanto, a modificação térmica pode causar alterações físicas e químicas, as quais afetam a qualidade da madeira, inviabilizando seu uso para algumas finalidades. O objetivo desta pesquisa foi ampliar o uso tecnológico de madeiras de rápido crescimento por meio da modificação térmica. A modificação térmica foi realizada a duas temperaturas (140°C e 160°C) pelo processo industrial VAP HolzSysteme®. Os ensaios inchamento, análises químicas e intemperismos foram realizados segundo normas COPANT 462, TAPPI e EN 927-3, respectivamente. Para o ensaio de biodeterioração utilizou-se os fungos *Lentinula edodes* e *Pleurotus djamor*. Foram confeccionados painéis e mini decks para avaliação das intempéries frente à modificação térmica. Em relação a madeira não modificada (testemunha), houve redução do teor de holocelulose e no valor de pH da madeira, ocorreu aumento nos teores de lignina e extrativos totais, na solubilidade em NaOH a 1%. O teor de umidade da madeira e o inchamento reduziram com o aumento da temperatura final de processo. A modificação o térmica alterou o comportamento apenas das espécies de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis* na biodeterioração. A modificação térmica promoveu melhorias na qualidade das espécies quando submetidas às intempéries. Indicam-se todas as espécies para uso externo como painéis. As espécies *Pinus taeda* e *Tectona grandis* mostraram qualidades favoráveis ao uso em ambientes externos como mini decks.

Palavras-chave: Intemperismo natural, Durabilidade da madeira; Estabilidade dimensional; Higroscopicidade; Química da madeira.

ABSTRACT

The thermal modification confers wooden improvements in dimensional stability, hygroscopicity and natural durability. However, the thermal modification can cause physical and chemical changes which affect the quality of the wood, preventing its use for some purposes. The objective of this research was to expand the use of technology woods of rapid growth through the thermal modification. The thermal modification was performed at two temperatures (140°C and 160°C) by processing VAP HolzSysteme®. The swelling tests, chemical and natural weathering tests were performed according COPANT 462, TAPPI and EN 927-3, respectively standards. For the biodegradation test fungi were used *Lentinula edodes* and *Pleurotus djamor*. Panels and mini decks were made to assess the weathering front to thermal modification. Compared to unmodified wood (control), reduction in the holocellulose content and pH value of the wood, there was an increase in lignin and extractives, the solubility in 1% NaOH. The moisture content of the wood and swelling, decreased with increasing final temperature process. The modification changed the thermal behavior of the only species of *Pinus taeda* and *Eucalyptus grandis* in biodeterioration. The thermal modification promoted improvements in the quality of the species when subjected to weathering. Show up all species for external use as painies. The loblolly pine and *Tectona grandis* species showed favorable qualities for outdoor use as mini decks.

Keywords: Natural weathering; Durability of wood; Dimensional stability; Hygroscopicity; Wood chemistry.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESQUEMA BÁSICO CONJUNTO GERADOR DE VAPOR / AUTOCLAVE.	23
FIGURA 2 – MECANISMOS DE REAÇÃO DA MADEIRA MODIFICADA NO PROCESSO THERMOWOOD®	28
FIGURA 3 – MODIFICAÇÃO DOS POLÍMEROS DA PAREDE CELULAR PELO PROCESSO DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA.	28
FIGURA 4 – PROGRAMA DO PROCESSO DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA VAP HolzSysteme®	39
FIGURA 5 – CORPO DE PROVA DOS ENSAIOS DE ESTABILIDADE DIMENSIONAL E MASSA ESPECÍFICA.	42
FIGURA 6 – FLUXOGRAMA DO ENSAIO DE ESTABILIDADE DIMENSIONAL.	43
FIGURA 7 – PEÇA UTILIZADA NA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS EXPOSTOS AO INTEMPERISMO NATURAL	47
FIGURA 8 – REPRESENTAÇÃO DE UM DOS PAINÉIS EXPOSTOS AO INTEMPERISMO NATURAL; A – FACE FRONTAL, B – FACE LATERAL	47
FIGURA 9 – PEÇAS INFERIORES (A) E SUPERIORES (B) UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DOS MINI <i>DECKS</i>	49
FIGURA 10 – MINI <i>DECKS</i> PRONTOS: FACES INFERIOR (A) E SUPERIOR (B).....	49
FIGURA 11 – TEOR MÉDIO DE HOLOCELULOSE DAS ESPÉCIES POR TRATAMENTO	52
FIGURA 12 – TEOR MÉDIO DE EXTRATIVOS TOTAIS DAS ESPÉCIES POR TRATAMENTO.....	54
FIGURA 13 – SOLUBILIDADE MÉDIA EM NaOH DAS ESPÉCIES POR TRATAMENTO	56
FIGURA 14 – RELAÇÃO ENTRE TEOR DE HOLOCELULOSE E PH DA MADEIRA.....	58
FIGURA 15 – RELAÇÃO ENTRE O TEOR DE HOLOCELULOSE E A SOLUBILIDADE EM HIDRÓXIDO DE SÓDIO A 1%.....	59
FIGURA 16 – RELAÇÃO ENTRE TEOR DE HOLOCELULOSE E TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA	61
FIGURA 17 – RELAÇÃO ENTRE INCHAMENTO VOLUMÉTRICO MÁXIMO E TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA.....	66

FIGURA 18 – ENSAIO DE BIODETERIORAÇÃO DA MADEIRA DE <i>Tectona grandis</i> MODIFICADA TERMICAMENTE COM O FUNGO <i>Lentinula edodes</i> AOS 30(A) E 60 DIAS (B); E DA MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i> MODIFICADA TERMICAMENTE COM O FUNGO <i>Pleurotus djamor</i> AOS 30(C) E 60 DIAS (D).....	68
FIGURA 19 – COMPORTAMENTO DO TEOR DE UMIDADE (%) E VOLUME (cm ³) DOS PAINÉIS.....	72
FIGURA 20 – COMPORTAMENTO DO TEOR DE UMIDADE (%) E VOLUME (cm ³) DAS PEÇAS DA BASE DOS MINI DECKS.	78
FIGURA 21 – COMPORTAMENTO DO TEOR DE UMIDADE (%) E VOLUME (cm ³) DAS PEÇAS SUPERIORES DOS MINI DECKS.....	79
FIGURA 22 – GRÁFICOS DAS VARIAÇÕES DO TEOR DE UMIDADE DOS PAINÉIS, PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA MÉDIA E UMIDADE RELATIVA MÉDIA VEIRIFICADAS DIARIAMENTE ENTRE O PERÍODO DE MEDIÇÃO.....	97
FIGURA 23 – GRÁFICOS DAS VARIAÇÕES TEOR DE UMIDADE DOS MINI DECKS (PEÇAS SUPERIORES), PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA MÉDIA E UMIDADE RELATIVA MÉDIA VEIRIFICADAS DIARIAMENTE ENTRE O PERÍODO DE MEDIÇÃO.	98
FIGURA 24 – GRÁFICOS DAS VARIAÇÕES DOS TEORES DE UMIDADES DOS MINI DECKS (PEÇAS INFERIORES OU BASE), PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA MÉDIA E UMIDADE RELATIVA MÉDIA VEIRIFICADAS DIARIAMENTE ENTRE O PERÍODO DE MEDIÇÃO.....	99

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DA PAREDE CELULAR DE MADEIRAS DE CONÍFERAS E FOLHOSAS.....	24
TABELA 2 – RESULTADOS DA ANÁLISE QUÍMICA POR ESPÉCIE E TRATAMENTO	51
TABELA 3 – MÉDIAS DA SOLUBILIDADE EM NaOH A 1% POR TRATAMENTO	55
TABELA 4– MÉDIAS DO pH DA MADEIRA POR TRATAMENTO	57
TABELA 5 – MÉDIAS DE UMIDADE INICIAL E UMIDADE DE EQUILÍBRIO POR TRATAMENTO	60
TABELA 6 - MÉDIAS DAS MASSAS ESPECÍFICAS APARENTES POR TRATAMENTO	63
TABELA 7 – MÉDIAS DE INCHAMENTO RADIAL, TANGENCIAL, LONGITUDINAL E VOLUMÉTRICO TOTAL.....	65
TABELA 8 – MÉDIAS DA ANISOTROPIA DE INCHAMENTO.....	67
TABELA 9 – PERDAS DE MASSA (%) MÉDIA DE <i>Pinus taeda</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> E <i>Tectona grandis</i> MODIFICADAS TERMICAMENTE E COLONIZADAS PELOS FUNGOS <i>Lentinula edodes</i> E <i>Pleurotus djamor</i>	69
TABELA 10 – FREQUENCIA RELATIVA DE DEFEITOS NOS PAINÉIS APÓS INTEMPERISMO NATURAL.....	73
TABELA 11 – NÍVEL DE DEGRADAÇÃO SUPERFICIAL DA MADEIRA EXPOSTA AO INTEMPERISMO NATURAL.....	75
TABELA 12 - FREQUENCIA RELATIVA DE DEFEITOS NOS MINI DECKS APÓS INTEMPERISMO NATURAL.....	80

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – FATORES ANALISADOS.....	40
QUADRO 2 – ANÁLISES QUÍMICAS E RESPECTIVAS NORMAS UTILIZADAS.	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
3	REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1	MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA	19
3.2	MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA NO BRASIL	20
3.3	PROCESSO VAP HolzSysteme®	22
3.4	EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NOS CONSTITUINTES DA MADEIRA	23
3.4.1	Compostos fundamentais	23
3.4.2	Compostos Secundários	26
3.5	EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS	29
3.5.1	Massa específica	29
3.5.2	Higroscopicidade	30
3.5.3	Estabilidade dimensional	31
3.6	EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA RESISTÊNCIA A BIODETERIORAÇÃO POR FUNGOS XILÓFAGOS	33
3.6.1	Fungo <i>Lentinula edodes</i>	35
3.6.2	Fungo <i>Pleurotus djamor</i>	36
3.7	EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NO INTEMPERISMO NATURAL	37
4	MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL, PROCESSO DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E TRATAMENTOS AVALIADOS	39
4.2	ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA	41
4.3	ESTABILIDADE DIMENSIONAL E Massa Específica	42
4.4	BIODETERIORAÇÃO DA MADEIRA	44
4.5	INTEMPERISMO NATURAL	46
4.5.1	Painéis	46
4.5.2	Mini decks	48

4.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	50
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
5.1	QUÍMICA DA MADEIRA.....	51
5.2	HIGROSCOPICIDADE DA MADEIRA.....	59
5.3	MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA.....	63
5.4	ESTABILIDADE DIMENSIONAL.....	64
5.5	BIODETERIORAÇÃO DA MADEIRA.....	68
5.6	INTEMPERISMO NATURAL.....	71
5.6.1	Painéis.....	71
5.6.2	Mini <i>decks</i>	76
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	82
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
	APÊNDICE.....	92
	ANEXOS.....	97

1 INTRODUÇÃO

Conforme dados de 2012 da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2013), as áreas plantadas com *Eucalyptus* spp., *Pinus* spp. e *Tectona grandis* correspondem a 5.102.030, 1.562.782 e 67.329 hectares, respectivamente.

As madeiras de pinus, eucalipto e teca tem múltiplos usos. A madeira de pinus é utilizada na construção civil, serraria, chapas compensadas, OSB (*Oriented Strand Board*), MDF (*Medium Density Fiberboard*), painel colado, lâminação e celulose; já a madeira de eucalipto, celulose, lenha e carvão, serraria, móveis, laminação e caixotaria; e a madeira de teca, para construção naval, móveis, laminação e compensados.

A susceptibilidade à biodeterioração pode ser contornada com o uso de madeiras tropicais que possuem alta durabilidade natural, porém, o uso dessas espécies é restrito atualmente. As madeiras de pinus e eucalipto têm baixa resistência ao ataque de agentes xilófagos, e o contrário ocorre com a madeira de teca, a qual é conhecida mundialmente pela sua alta resistência.

Com o aumento da demanda por matérias-primas que substituam a madeira nativa, por causa de limitações legais com intuito de reduzir o desmatamento, as indústrias laminadoras (que necessitam de toras de grandes diâmetros e livres de nós) e moveleiras estão tendo que se adequar às espécies de plantios comerciais. Esses plantios estão sendo manejados para múltiplos usos.

Para a utilização de madeiras de baixa durabilidade natural em ambientes externos e internos há necessidade de medidas tecnológicas para melhoria desta propriedade. Para tal, desde 1830 existem metodologias de processos de preservação de madeira. Em 1933, um oficial da pesquisa do governo indiano (Dr. Sonti Kamesan) desenvolveu o primeiro preservativo de madeira à base de cobre- cromo- arsênio (CCA), o qual é utilizado até os dias de hoje no Brasil e com restrição de uso na Europa e Estados Unidos. Embora o CCA seja um preservante extremamente eficaz, ele também leva a preocupações principalmente quanto à liberação final de arsênio e cromo para

a biosfera e exposição humana a estes compostos, os quais podem causar danos severos à saúde.

Por causa das preocupações ambientais com a utilização de certas classes de preservantes, houve uma retomada de estudos acadêmicos sobre modificação da madeira, com a finalidade de aumentar a resistência à biodeterioração, sem provocar danos ao meio ambiente e toxicidade ao ser humano.

Segundo Hill (2006), de todos os processos de modificação da madeira, a modificação térmica detem da tecnologia mais avançada comercialmente, o qual propõe melhorias na estabilidade dimensional e resistência a biodeterioração e intemperismo, além de reduzir a higroscopicidade e modificar a cor do material.

A modificação térmica, então, pode ser capaz de melhorar as qualidades das madeiras comerciais, produzindo um produto alternativo para utilização em ambientes externos.

O Brasil é detentor de um processo de modificação térmica denominado *VAP HolzSysteme*[®] o qual possibilita facilidade de estudos do processo e dos produtos.

Diante deste quadro, a investigação do comportamento das espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, e também a *Tectona grandis*, submetidos ao processo brasileiro de modificação térmica, se faz necessária para comprovar benefícios já relatados e dar um melhor destino de uso aos produtos do processo.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi melhorar as propriedades tecnológicas de madeiras de rápido crescimento por meio da modificação térmica, possibilitando novos usos para as espécies.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar a influência da modificação térmica nas propriedades químicas e físicas da madeira.
- Analisar o efeito da modificação térmica na resistência à biodeterioração por fungos xilófagos.
- Avaliar o efeito do intemperismo na madeira modificada termicamente em mini *decks* e painéis.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA

A modificação térmica da madeira é definida por Hill (2006) como a aplicação de calor à mesma, a fim de provocar melhorias nas propriedades do material, tais como: aumentar a estabilidade dimensional, reduzir a higroscopicidade e aumentar a resistência à biodeterioração e ao intemperismo.

A aplicação de calor na madeira resulta em degradação de componentes químicos fundamentais do material. Quando as alterações destas propriedades são cuidadosamente controladas pela modificação térmica, os produtos gerados podem ser utilizados para determinadas finalidades (HILL, 2006; IBACH, 2010).

Um dos primeiros a informar o efeito da modificação térmica à alta temperatura nas propriedades físicas da madeira foi Tiemann em 1915. Ele aqueceu a madeira em vapor superaquecido a 150°C durante 4 horas, o que reduziu a sorção de umidade entre 10 e 25%, com pequenas reduções na resistência mecânica. Stamm e Hansen¹ (1937, citados por Hill, 2006), relataram um estudo de aquecimento de *black gum* a 205°C, realizado em 1916, e que resultou em redução da higroscopicidade.

Com base nesses estudos, alguns processos comerciais foram desenvolvidos em meados do século XX, tais como "*Lignostone*" e "*Lignifol*" na Alemanha e "*Staypak*" e "*Staybwood*" nos Estados Unidos da América, porém sem muito sucesso (PEREIRA; ESTEVES, 2009).

Recentemente, com o avanço de tecnologias e maior controle do processo, várias plantas industriais de modificação de madeira têm sido construídas na Europa, em que os processos de modificação térmica são os que mais têm evoluído em termos comerciais, devido ao baixo custo quando

¹ STAMM, A.J.; HANSEN, L.A.. Minimizing wood shrinkage and swelling. Effect of heating in various gases. **Industrial and Engineering Chemistry**, 29(7), 831–833, 1937.

comparado aos processos químicos. Trata-se dos processos *Thermowood* (Finlândia), *Plato* (Holanda), *Bois Perdure e Retification* (França) e *Menz OHT* (Alemanha) (HILL, 2006; PEREIRA; ESTEVES, 2009; XIE *et al.* 2002). Os processos desenvolvem-se normalmente em quatro fases: aquecimento, tratamento, resfriamento e estabilização.

Comumente, os processos utilizam madeira maciça tanto de folhosas como de coníferas, utilizam temperaturas entre 160 e 260°C em condições específicas de processo de acordo com a espécie e qualidade final desejada e utilizam atmosfera oxidante com algum tipo de gás protetor (N₂ ou vapor de água) para evitar a carbonização da madeira. A higroscopicidade e resistência mecânica da madeira diminuem e, conseqüentemente, a estabilidade dimensional aumenta, porém inviabiliza o uso estrutural do material, há melhoras na resistência a fungos apodrecedores, torna-se mais escura. Todos os processos possuem forte apelo sustentável pela ausência de impregnação de produtos químicos tóxicos (COST ACTION E22, 2001; ESTEVES; PEREIRA, 2009; FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION, 2003; HILL, 2006; MENZ HOLZ, 2012; PERDURE, 2012; PLATOWOOD, 2012; RETIWOOD, 2012; XIE *et al.*, 2002).

3.2 MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA NO BRASIL

Os estudos de modificação térmica iniciaram no Brasil na década de 1980 em escala laboratorial, utilizando principalmente estufas elétricas, muflas e autoclaves (BATISTA, 2012).

Vital e Della Lucia (1982) e Vital *et al.* (1983) estudaram a influência do aquecimento da madeira na umidade de equilíbrio e algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus saligna*, denominando este processo de aquecimento. O equipamento utilizado foi uma estufa de circulação forçada de ar a 105, 130 e 155°C e com diferentes ciclos de duração 10, 20, 40, 80 e 160 horas.

Após uma década, Brito (1993) realizou estudos sobre modificação térmica da madeira de *Eucalyptus saligna* em uma mufla, com taxa de

aquecimento de $0,02^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, chegando a temperaturas finais de 180, 200 e 220°C , denominando o processo de retificação térmica.

Pincelli (1999) avaliou o efeito da modificação térmica nas propriedades de envernizamento, colagem e cor das madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribea* var. *hondurensis*. Utilizou-se de uma estufa de aquecimento por resistências elétricas a temperaturas entre 120 e 180°C , nomeando o processo de termoretificação.

A partir do ano 2000 houve um maior enfoque nos estudos sobre a modificação térmica, apresentando-se resultados positivos ou negativos a respeito deste processo. Miranda (2010), Lengowski (2011), Batista (2012) e Greibeler (2013), basearam seus estudos nas propriedades dos produtos do processo VAP HolzSysteme[®].

Miranda (2010) em seu trabalho de conclusão de curso estudou a modificação térmica da madeira de *Tectona grandis* a 140 , 160 e 180°C pelo processo industrial VAP HolzSysteme[®], e denominou-o de termotratamento, em que propriedades físicas e mecânicas foram avaliadas.

Lengowski (2011), também em trabalho de conclusão de curso, analisou a anatomia, a química e as propriedades físicas e mecânicas das madeiras das espécies *Eucalyptus grandis*, *Pinus taeda* e *Tectona grandis* modificadas termicamente a 160°C , pelo processo industrial VAP HolzSysteme[®]. A modificação térmica alterou a estrutura morfológica da madeira, as propriedades químicas, físicas e mecânicas da madeira, proporcionando melhoras na higroscopicidade e estabilidade dimensional.

Batista (2012), em tese, avaliou as propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* modificada termicamente pelo processo industrial brasileiro VAP HolzSysteme[®], com temperaturas finais de processo de 140 , 160 e 180°C . A madeira modificada termicamente alterou as propriedades da madeira, reduzindo a higroscopicidade e inchamento volumétrico, causou redução da resistência mecânica. O aumento progressivo da temperatura representou aumento da resistência à deterioração fúngica de *Postia placenta*. Porém, o mesmo não ocorreu para *Gloeophyllum trabeum*. O efeito da modificação térmica foi nulo na resistência à deterioração pelos térmitas *Nasutitermes* sp. (subterrâneo) e *Cryptotermes* sp. (de madeira seca).

Por fim, Griebeler (2013) avaliou as variações de cor da madeira de *Eucalyptus grandis* após ser submetida ao processo brasileiro de modificação térmica VAP HolzSysteme[®], nas temperaturas de 140 , 160 e 180°C, que proporcionaram três padrões de cor distintos à madeira.²

3.3 PROCESSO VAP HolzSysteme[®]

O processo VAP HolzSysteme[®] é realizado pela empresa TWBrazil³. Adota-se ao produto a nomenclatura de Thermally Modified Timber ou TMT.

A empresa TWBrazil industrializa, impregna e comercializa madeiras de pinus, eucalipto, teca e bambu com diferentes finalidades como construção civil, linha rural, jardinagem e decoração, além do próprio equipamento que efetua o processo, também, atua no ramo de preservação de madeira utilizando processos convencionais de vácuo-pressão.

O equipamento utilizado para o processo de modificação térmica da madeira é constituído basicamente por: cilindro (vaso de pressão) de 125cm de diâmetro, 850cm de comprimento, com capacidade nominal de 6m³ de madeira por ciclo; gerador instantâneo de vapor classe B com capacidade de produção de 216kgv/h; reservatório de água; controlador lógico programável (CLP), que controla as variáveis do processo, e; trilhos e vagonete, para abastecimento e descarregamento da madeira. A FIGURA 1 mostra a esquematização do equipamento utilizado e comercializado pela empresa. De um modo geral, o equipamento é semelhante a uma autoclave de preservação da madeira.

² Pesquisa de revisão bibliográfica realizada até o mês de novembro de 2013.

³ TWBrazil. <http://www.twbrazil.com.br/> Acesso em 12/11/2012.

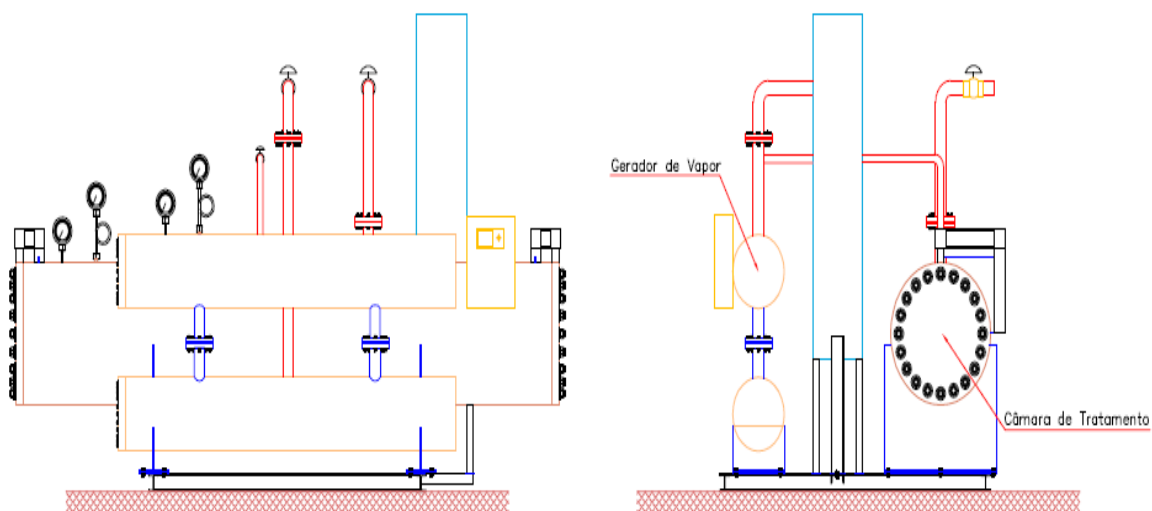


FIGURA 1 – ESQUEMA BÁSICO CONJUNTO GERADOR DE VAPOR / AUTOCLAVE.

Fonte: TWBrazil,2012.

3.4 EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NOS CONSTITUINTES DA MADEIRA

3.4.1 Compostos fundamentais

Os principais elementos existentes na madeira são: carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O) e nitrogênio (N), este em pequenas quantidades. A análise da composição química elementar da madeira de diversas espécies, coníferas e folhosas, demonstra a seguinte composição percentual, em relação à massa seca da madeira, sendo: C, H, O, N de 49-50%, 6%, 44-45% e 0,1-1%, respectivamente. Além destes elementos encontram-se pequenas quantidades de cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg) e outros, constituindo as substâncias minerais existentes na madeira, encontrados nas cinzas (TSOUMIS,1991).

Segundo Fengel e Wegener (1989), os principais componentes macromoleculares constituintes da parede celular são a celulose, polioses (hemiceluloses) e lignina, os quais estão presentes em todas as madeiras. Os

componentes minoritários de baixo peso molecular, extrativos e substâncias minerais são intrínsecos a espécie com relação ao tipo e a quantidade. Coníferas e folhosas diferem quanto à proporção e composição química da lignina e polioses, ao passo que a proporção de celulose e extrativos é praticamente a mesma na madeira de todas as espécies (TABELA 2).

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DA PAREDE CELULAR DE MADEIRAS DE CONÍFERAS E FOLHOSAS.

CONSTITUINTE	CONÍFERAS (%)	FOLHOSAS (%)
Celulose	40 – 50	40 – 50
Hemicelulose	20 – 30	25 – 40
Lignina	25 – 35	20 – 25
Extrativos	0 – 25	0 – 25

Fonte: Siau (1995).

3.4.1.1 Celulose

O teor de celulose na madeira varia de 40 a 50% da massa seca, sendo o principal constituinte da parede celular. É um homopolímero linear composto por unidade de β -D-glicose ($C_6H_{12}O_6$), um monossacarídeo formado pela fotossíntese usando dióxido de carbono atmosférico, unidos por ligações glicosídicas (TSOUMIS, 1991; SJÖSTRÖM; WESTERMARK, 1998).

A degradação completa da celulose ocorre de 300 a 340°C (KIM *et al.*, 2001; SUNDQVIST, 2004). As regiões amorfas de celulose são mais susceptíveis à degradação térmica e provavelmente possuem propriedades térmicas similares aos componentes de hemicelulose de hexoses. (FENGEL; WEGENER, 1989).

O principal derivado da degradação térmica da celulose é a levoglucosana, mas anidroglicosos, furano e derivados de furano também podem ser produzidos. Entretanto, a celulose é pouco afetada no processo de modificação térmica, por causa das temperaturas comumente utilizadas, que

causa pequena perda de massa. Porém, se a perda for maior que 7%, o teor de levoglucanosana torna-se significativo na fração extraída (ESTEVEES *et al.*, 2011).

3.4.1.2 Hemiceluloses

As hemiceluloses são quimicamente relacionadas com a celulose, porque ambas são carboidratos, e juntas formam o que se chama holocelulose. A separação entre celulose e hemiceluloses está embasada na solubilidade em hidróxido de sódio a 17,5%, em que o primeiro grupo é insolúvel, e o segundo é solúvel (TSOUMIS, 1991).

As hemiceluloses representam um grupo de heterossacarídeos dispostos em cadeias ramificadas e constituem de 20 a 30% da massa seca da madeira e possuem função estrutural na parede celular (SJÖSTRÖM; WESTERMARK, 1998).

As hemiceluloses são os primeiros polímeros da parede celular a se degradar termicamente, resultando na produção de metanol, ácido acético e vários compostos heterocíclicos voláteis. A degradação das hemiceluloses inicia a aproximadamente 150°C, aumentando gradativamente com a temperatura, e o tempo de exposição, sendo completamente consumida a 225 °C (SUNDQVIST, 2004). A perda de massa de hemiceluloses leva a um aumento do grau de cristalinidade da madeira, em adição às modificações relacionadas com a degradação e rearranjo da celulose amorfa (HILL, 2006).

Um fator significativo na degradação térmica de hemiceluloses é a presença de grupos acetil que são lábeis termicamente e conduzem à formação de ácido acético, causando a degradação catalisada por ácido dos polissacarídeos (FENGEL; WEGENER, 1989).

3.4.1.3 Lignina

A lignina é uma macromolécula sintetizada por via de radicais de três álcoois p-hidróxi-cinâmílicos precursores: p-cumarílico, coniferílico e sinapílico. Dependendo do grau de metoxilação do anel aromático, diz-se que a unidade básica é p-hidróxifenil (não metoxilada, derivada do álcool p-cumarílico), guaiacil (com uma metoxila, derivada do álcool coniferílico) ou siringil (com duas metoxilas, derivada do álcool sinapílico). As ligninas de madeiras de coníferas são compostas quase que exclusivamente por unidades guaiacil, sendo denominadas ligninas tipo G. Já as de folhosas são mais ricas em unidades siringil, sendo denominadas ligninas tipo GS (FENGEL; WEGENER,1989).

Nos processos de modificação térmica, geralmente se aceita que a lignina é o componente mais estável termicamente de parede celular. Sua degradação inicia antes da celulose, porém por ser mais latente, termina depois, acima de 300°C. A perda de massa de hemiceluloses leva a um aumento aparente do teor de lignina, que se mantém constante até 140-150°C e aumenta deste ponto em diante, (FENGEL; WEGENER,1989; ESTEVES *et al.*, 2011).

O teor de lignina também é reduzido no processo de modificação térmica, evidenciado pela formação de compostos fenólicos típicos da sua pirólise (catecol, vanilina, ácido vanílico, 3-vanilil-propanol e aldeído coniferílico) (ESTEVES *et al.*, 2011).

3.4.2 Compostos Secundários

O grupo de constituintes da madeira de pequena massa molecular pode ser dividido em substâncias inorgânicas e substâncias orgânicas (FENGEL; WEGENER, 1989).

3.4.2.1 Extrativos orgânicos

Os extrativos são compostos químicos geralmente formados a partir de graxas, ácidos graxos, alcoóis graxos, fenóis, terenos, esteroides, resinas ácidas, resinas, ceras, e alguns outros tipos de compostos orgânicos. Estes compostos existem na forma de monômeros, dímeros e polímeros. A maioria dos extrativos, tanto em coníferas como nas folhosas, está localizada no cerne (sem considerar a casca), e alguns são responsáveis pela cor, odor e durabilidade da madeira (ROWELL *et al.*, 2005).

Segundo Sjöström (1993), os extrativos não compõem a parede celular, porque são substâncias predominantemente extracelulares, de baixo peso molecular e que dificilmente atingem 10% da massa seca da madeira. Em situações extremas, podem chegar a 40% da massa seca.

Fengel e Wegener (1989) classificam os extrativos orgânicos em carboidratos, terpenos, esteroides, glicosídeos e substâncias aromáticas, alifáticas e nitrogenadas.

Alguns extrativos são consumidos pelo processo de modificação térmica a 125 °C (SUNDQVIST, 2004). Conforme o processo de modificação térmica se desenvolve, ocorre a formação de novos extrativos derivados da degradação da holocelulose e lignina. Dependendo das variáveis do processo, o teor de extrativos aumenta até certo ponto, decrescendo em seguida (ESTEVES *et al.*, 2008).

Na FIGURA 2 há um quadro com o resumo das modificações químicas ocorridas na madeira pelo processo ThermoWood® e a sua influência nas propriedades da madeira.

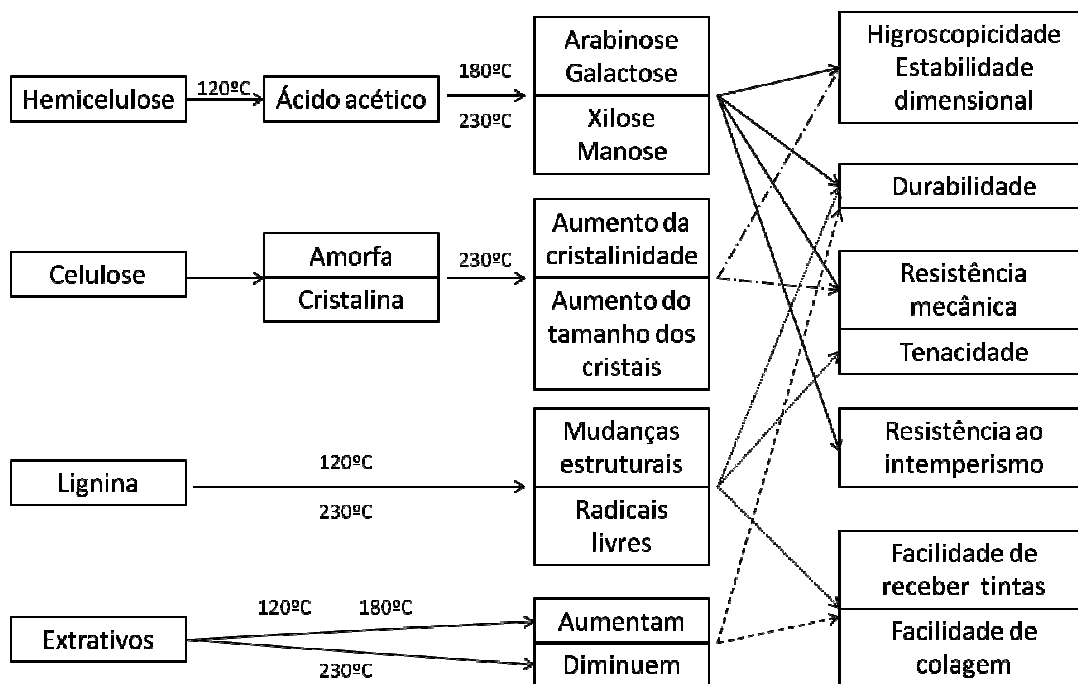


FIGURA 2 – MECANISMOS DE REAÇÃO DA MADEIRA MODIFICADA NO PROCESSO THERMOWOOD®
 FONTE: BATISTA (2012).

A modificação térmica da madeira age sobre as regiões dos polímeros da madeira, provocando alterações, seja por fenômenos como recombinação (*cross-linking*), substituição dos grupos hidroxílicos por outros de caráter hidrofóbico, eliminação destes grupos ou indesejável quebra de cadeias (FIGURA 3). Todas essas alterações resultam em restrição da capacidade da madeira de trocar água com o meio circundante (HOMAN *et al.*, 2000).

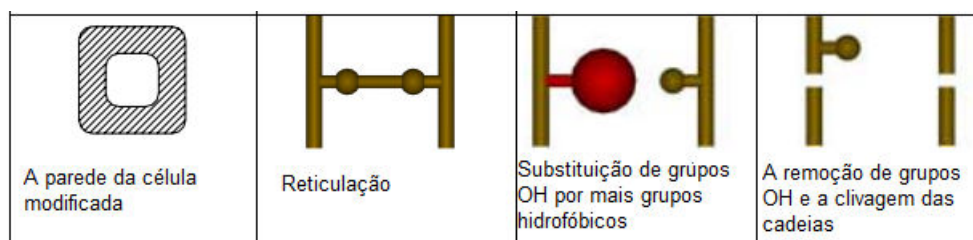


FIGURA 3 – MODIFICAÇÃO DOS POLÍMEROS DA PAREDE CELULAR PELO PROCESSO DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA.
 FONTE: ADAPTADO DE HOMAN *et al.*(2000).

3.4.2.2 Extrativos inorgânicos

O grupo das substâncias inorgânicas da madeira é formado pelos componentes minerais. Nas espécies de clima temperado, essas substâncias são predominantemente constituídas por potássio, cálcio e magnésio, e nas madeiras tropicais outros elementos podem ocorrer, como o silício, por exemplo (FENGEL; WEGENER, 1989). O teor de cinzas raramente é menor que 0,2% ou maior que 1% da massa seca da madeira (TSOUMIS, 1991).

Batista (2012) concluiu que a fração inorgânica da madeira de *Eucalyptus grandis* não foi influenciada pelo processo de modificação térmica VAP HolzSysteme® em que as médias dos tratamentos a 140, 160 e 180°C encontraram-se dentro do intervalo apresentado na literatura para a madeira natural.

Lengowski (2011) avaliou quimicamente as madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Pinus taeda* e *Tectona grandis* modificadas termicamente pelo processo VAP HolzSysteme® a 160°C. E constatou que os teores de lignina e extrativos totais reduziram respectivamente em 26,6 e 30,8% para espécie de eucalipto, 11,2 e 23,9% para pinus, e 20,9 e 32,7% para teca. A holocelulose aumentou em 18,6, 4,6 e 24,8% para eucalipto, pinus e teca, respectivamente.

Batista (2012), também, avaliou a química da madeira de *Eucalyptus grandis* pelo mesmo processo a 140, 160 e 180°C. E constatou que a 160°C os teores de holocelulose e lignina insolúvel reduziram em 23,0 e 2,5%, respectivamente, e os extrativos totais aumentaram em 757,6%. Já a 140°C, a holocelulose reduziu 2,7% e a lignina e extrativos totais aumentaram em 1,4 e 62,2%, respectivamente.

3.5 EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS

3.5.1 Massa específica

A massa específica uma das propriedades físicas mais importantes na caracterização tecnológica da madeira, visto que está correlacionada diretamente com a massa, composição celular, resistência mecânica e estabilidade dimensional (ARGANBRIGHT, 1971; OLIVEIRA, 2007; BATISTA, 2012).

A massa específica da madeira é definida como a relação entre a massa e o volume, e é expressa em quilograma por metro cúbico (kg.m^{-3}) no Sistema Internacional (SI), e em grama por centímetro cúbico (g.cm^{-3}) no sistema CGS (centímetro, grama, segundo) (GLASS; ZELINKA, 2010).

A massa específica varia de acordo com a espécie, umidade, estrutura celular (lenho tardio e lenho inicial, juvenil e adulto, cerne e alburno, lenho de reação), extrativos e composição química (TSOUMIS, 1991). Também é influenciada pelos tratamentos culturais e silviculturais, tais como poda, desbaste, espaçamento, material genético, fertilização; ou seja, qualquer fator que altere o crescimento das árvores modifica a massa específica da madeira (BATISTA, 2012).

A perda de massa altera a massa específica, higroscopicidade, resistência mecânica e resistência à biodeterioração da madeira modificada termicamente (COST ACTION E22, 2001; HILL, 2006).

Lengowski (2011) obteve médias de redução na massa específica básica de 23,21 e 2,81% para *Pinus taeda* e *Tectona grandis*, respectivamente, modificadas termicamente a 160°C. Na mesma temperatura, Modes (2010) obteve redução de até 2,72% da densidade da madeira, e Brito *et al.* (2006) de 4,07%, ambos para *Eucalyptus grandis*.

3.5.2 Higroscopicidade

Segundo Borges e Quirino (2004) a madeira é um material higroscópico, devido a sua constituição química (lignina, celulose e hemicelulose). Destes compostos químicos a hemicelulose é a mais hidrófila,

contribuindo para a variação dimensional da madeira em função da troca de água com o meio.

A umidade de equilíbrio é aquela em que a madeira encontra-se em equilíbrio higroscópico com o meio, ou seja, não ganha nem perde umidade para o ambiente circundante. A quantidade de água higroscópica presente na madeira depende do número de sítios de sorção disponíveis e do número de moléculas de água que podem ser retidas nestes sítios (SIAU, 1995).

Com a modificação térmica a higroscopicidade pode ser reduzida pela degradação das hemiceluloses e demais modificações na estrutura da madeira (BORGES; QUIRINO, 2004). E, segundo Hill (2006), esta redução está relacionada com o tempo e temperatura do processo.

Lengowski (2011) verificou que a umidade de equilíbrio foi reduzida de 11,43 para 10,11% para o *Eucalyptus grandis* modificado termicamente a 160°C pelo processo VAP HolzSysteme®. Batista (2012), utilizando os mesmos processo e espécie, verificou que a umidade de equilíbrio foi reduzida em 14,04% para 140°C e 34,99% para 160°C. Ainda para o mesmo processo, Lengowski (2011) atingiu 16,56% e 42,39% de redução na umidade de equilíbrio para as espécies de *Pinus taeda* e *Tectona grandis*, respectivamente.

Modes (2010) observou reduções na umidade de equilíbrio de 26,80% para *Pinus taeda* e 30,38% para *Eucalyptus grandis*, ambos modificados termicamente a 160°C.

Azevedo e Quirino (2006) observaram redução na higroscopicidade da madeira de *Eucalyptus grandis* em 18,17%, quando submetida ao tratamento térmico em autoclave a temperatura de 160°C, por 2 horas. Borges e Quirino (2004) observaram uma redução de 21,20% para a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, empregando o mesmo processo.

3.5.3 Estabilidade dimensional

A umidade da madeira interfere no seu processamento, por exemplo, curvamento, preservação, secagem, colagem, fabricação de compensados e

aglomerados, produção de carvão vegetal, processamento mecânico, entre outros (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

O estudo do comportamento das variações dimensionais da madeira é essencial para a sua utilização industrial. As relações existentes entre massa específica, umidade, e instabilidade dimensional são de fundamental importância para o aproveitamento mais eficiente da madeira (REZENDE, 2003; REZENDE *et al.*, 1995).

A movimentação dimensional da madeira, contração e inchamento, ocorre com a perda e ganho de umidade, respectivamente, entre 0% de umidade e o ponto de saturação das fibras - PSF (BATISTA, 2012).

O PSF varia de 26 a 32% entre as espécies, e a anisotropia é definida como a movimentação desigual das diferentes direções estruturais da madeira (KOLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968). A diferença das movimentações dimensionais resulta em defeitos como empenamentos, rachaduras e afrouxamento de grã (STAMM, 1964).

O tratamento térmico com a finalidade de conferir estabilidade dimensional à madeira tem sido pesquisado nos Estados Unidos da América desde a década de 1940, quando Stamm patenteou um processo chamado "Staybwood" (madeira estável) (HILL, 2006).

O aumento da estabilidade dimensional da madeira modificada termicamente ocorre pela redução na higroscopicidade, causada pela degradação das hemiceluloses, pela quebra dos polímeros da lignina e pelo surgimento de novas ligações químicas entre eles, sendo o fenômeno denominado reticulação (QUIRINO; VALE, 2002).

O tratamento térmico a uma temperatura acima de 200°C reduz a movimentação dimensional da madeira. No entanto, a estabilidade dimensional é largamente dependente do processo, temperatura final e espécie. O processo ThermoWood® reduz a contração e o inchamento em 50 a 90%, por causa da redução de grupos hidroxila na madeira. O processo Plato® também reduz em 50% a contração, Retification®, redução de 25 a 43% na contração volumétrica, e, Menz OHT® reduzir de 40 a 68% (COST ACTION E22, 2001).

As médias de contração volumétrica das madeiras de *Pinus taeda*, *Eucalyptus grandis* e *Tectona grandis* modificados termicamente a 160°C pelo

processo VAP HolzSysteme® foram de 9,54, 10,42% e, 4,22%, respectivamente (LENGOWSKI, 2011).

Em outra situação, as médias de inchamento volumétrico da madeira de *Eucalyptus grandis* modificado termicamente a 140 e 160°C foram de 11,13 e 8,82%, respectivamente (BATISTA, 2012).

Segundo Nock *et al.* (1975) o coeficiente de anisotropia é utilizado para indicar a qualidade da madeira quanto aos defeitos originados do processo de secagem. Logsdon e Penna (2004) relacionam a anisotropia de inchamento com a qualidade da madeira. Estes autores classificam a madeira como excelente qualidade quando a anisotropia de inchamento for igual ou inferior a 1,54, qualidade normal quando a anisotropia de inchamento fica entre 1,54 e 2,10, e, qualidade ruim, superior a 2,10.

3.6 EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA RESISTÊNCIA A BIODETERIORAÇÃO POR FUNGOS XILÓFAGOS

As principais formas de degradação da madeira ocorrem pela ação de agentes biológicos, físicos, químicos, bem como pelo fogo. Porém, a mais comum é a biodeterioração (LOFERSKI, 2001).

A madeira é biologicamente degradada porque os organismos reconhecem os polímeros da parede celular como fonte de nutrição, e alguns deles possuem sistemas enzimáticos específicos capazes de metabolizá-los em unidades absorvíveis (OLIVEIRA *et al.*, 1986).

A classificação dos fungos biodeterioradores pode ser as seguintes: fungos embloradores, fungos manchadores e fungos apodrecedores. Os fungos apodrecedores subdividem-se em:

a) Fungos causadores de podridão branca degradam celulose, hemiceluloses e lignina, quebrando-as em moléculas menores até CO₂ e H₂O. Por isso são chamados de fungos lignocelulolíticos. Os fungos, quando degradam a madeira, causam a perda de resistência, tornando-a laminada,

esponjosa e fibrosa, com uma coloração branca, resultando o nome de podridão branca (GIMENES, 2010; KIRK; CULLEN, 1998).

b) Fungos causadores de podridão parda degradam celulose e hemiceluloses. Nos estágios finais de degradação, a madeira apresenta uma aparência amorfa e escura (GIMENES, 2010; KIRK; CULLEN, 1998).

c) Fungos de decomposição mole podem degradar tanto os polissacarídeos quanto a lignina, porém em velocidades muito reduzidas (KIRK; CULLEN, 1998).

Os fungos de decomposição branca são considerados os mais eficientes na biodeterioração da madeira, em que existem aqueles que promovem ataque erosivo e aqueles que promovem ataque não erosivo à parede celular. O ataque erosivo caracteriza-se pela remoção simultânea de celulose, hemiceluloses e lignina. E o ataque não erosivo caracteriza-se pela manutenção da celulose à custa da degradação de hemiceluloses e lignina (KIRK; CULLEN, 1998).

A resistência ou durabilidade natural pode ser traduzida como a capacidade da madeira de resistir à ação de quaisquer agentes que deterioram a madeira (SILVA *et al.*, 2005). A capacidade de degradação de fungos apodrecedores tem sido correlacionada com a quantidade e tipo de enzimas produzidas, mas uma forma direta de avaliar a capacidade de deterioração é aferir a perda de massa de matéria seca da madeira por meio da inoculação de corpos de prova com o fungo a ser testado (RAYNER; BODDY, 1988).

A resistência ao ataque específico de agentes biológicos se deve à presença dos extrativos, que são substâncias químicas tóxicas ou repelentes aos organismos xilófagos. Entretanto, a distribuição dos extrativos é diferente em cada espécie, entre árvores e entre porções do lenho. De modo geral, a maior concentração dos extrativos é encontrada no cerne e mais precisamente na região de transição para o alburno, decrescendo em direção à medula e aumentando em direção à base do fuste. Esta característica, aliada à ausência de material nutritivo, garante que o cerne seja a porção da madeira que represente maior durabilidade natural (PAES *et al.*, 2003; SILVA *et al.*, 2005).

Clausen (2010) considera o gênero *Pinus* como uma madeira de resistência moderada quando submetida à biodeterioração da madeira. Com durabilidade inferior a um ano (FERNANDES *et al.*, 1990).

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo a madeira de *Eucalyptus grandis* foi classificada com durabilidade natural moderada ao ataque de fungos apodrecedores (IPT, 2013).

A madeira de *Tectona grandis* possui alta durabilidade natural e apresenta alta resistência à ação de fungos apodrecedores (IPT, 2013; MOTTA *et al.*, 2013).

O aumento da durabilidade da madeira modificada termicamente ao ataque de fungos pode ser explicado por quatro diferentes razões: a geração de novos extrativos durante o processo, que podem atuar como fungicida; a modificação química dos polissacarídeos e lignina da madeira, que leva a uma inibição das enzimas degradativas dos fungos, decorrente da perda de capacidade em reconhecer o seu substrato; significativa degradação das hemiceluloses, que constituem uma das principais fontes de nutrientes para os fungos e; aumento na característica hidrofóbica da madeira, que reduz a absorção de água, o que não favorece o desenvolvimento de certos fungos (SILVA *et al.*, 2008).

Boonstra *et al.* (2007) afirmaram que as modificações químicas nas paredes celulares causadas por modificação térmica a determinadas temperaturas, geralmente acima de 150°C, são efetivas na alteração da resistência da madeira ao ataque de agentes xilófagos.

3.6.1 Fungo *Lentinula edodes*

O fungo *Lentinula edodes* pertence à classe dos basidiomicetos e é mundialmente conhecido como *shiitake* (MOORE-LANDECKER, 1982). É um fungo lignocelulítico, o qual produz uma gama de enzimas hidrolíticas e oxidativas, tais como celulases, hemicelulases e ligninases envolvidas no

processo de degradação dos principais componentes de materiais lignocelulósicos (EIRA; MINHONI, 1996; PLATT *et al.* 1981).

Por utilizar lignina, celulose e hemicelulose como fontes de carbono e nutrientes, o *shiitake* pode ser cultivado em diversos resíduos agrícolas (EIRA; MINHONI, 1996; PLATT *et al.* 1981). No Brasil o gênero arbóreo mais utilizado para produção deste fungo é o *Eucalyptus* spp., sendo a espécie de *Eucalyptus grandis* a mais utilizada (55%) (MINHONI *et al.*, 2007; SILVA, 2003).

Andrade *et al.* (2007) avaliou o crescimento micelial de algumas linhagens de shiitake e sua produção em toras de eucalipto e as conseqüentes alterações em características físicas da madeira em decorrência da inoculação com a linhagem. Ocorreu diferença nos crescimentos miceliais das linhagens, alteração do teor de umidade da madeira ao longo do experimento e por conseqüência redução na massa específica da madeira.

3.6.2 Fungo *Pleurotus djamor*

Os fungos do gênero *Pleurotus* também pertencem à classe dos basidiomicetos (ZADRAZIL; KURTZMAN, 1984), causadores de podridão branca. Desenvolvem-se em troncos de árvores ou madeira morta, produzindo um micélio branco e degradam tanto a lignina como a celulose (PERALTA, 2008).

Para tanto, possuem um complexo enzimático lignocelulolítico único, com enzimas como celulase, ligninase, celobiase, lacase e hemicelulase (PERALTA, 2008), que fazem com que esses fungos degradem uma grande variedade de resíduos lignocelulósicos e orgânicos, sem a necessidade de fermentação prévia do substrato (BANO; RAJARATHNAM, 1988). Esse gênero tem espécies utilizadas na aplicação de processos biotecnológicos baseados em materiais lignocelulósicos (CABRERA *et al.*, 2002; BONATTI *et al.*, 2004).

Abreu *et al.* (2007) avaliou a degradação, *in vitro* e em condições de campo, de corpos de prova de *Eucalyptus* sp. inoculados com os basidiomicetos de podridão branca, dentre eles um do gênero *Pleurotus*,

visando a seleção de isolados para futura utilização na deterioração de cepas e raízes mortas em plantios comerciais de eucalipto. Os tratamentos empregados e o período de incubação, *in vitro*, não influenciaram a perda de massa dos discos de eucalipto. Em condições de campo, a perda de massa dos corpos de prova de eucalipto, inoculados com gênero *Pleurotus* foi de 12,45%.

3.7 EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NO INTEMPERISMO NATURAL

Intemperismo é o termo geral que descreve a degradação de materiais exteriores e manifesta-se fisicamente e quimicamente, por exemplo, craqueamento e esfoliação de rochas, corrosão de metais e fotodegradação de materiais orgânicos. A radiação ultravioleta (UV) da luz solar catalisa fotodegradação de materiais orgânicos muito umidados, variação de temperatura, ciclos de congelamento-descongelamento, abrasão por partículas sopradas pelo vento, e crescimento de micro-organismos. A degradação ocorre perto da superfície da madeira, produtos de madeira, e acabamentos (WILLIAMS, 2005).

Os mecanismos de degradação que ocorrem nos materiais estão diretamente relacionados aos agentes do meio ambiente, que segundo Vallejo (1990), a radiação ultravioleta, vento, ação do calor e umidade, causam maior efeito quando agem em conjunto.

Nascimento (2003) aponta dois modos de avaliar esses efeitos: o intemperismo natural, que consiste na exposição de amostras do material diretamente ao ar livre, e a posterior verificação das mudanças ocorridas ao longo de um período; e o intemperismo artificial acelerado, no qual o material é submetido a uma simulação das condições ambientais, em câmara de ensaio de envelhecimento artificial, em laboratório.

Segundo Vallejo (1990), Nascimento (2003) e Williams (2005), os métodos de determinação da resistência ao intemperismo natural devem

considerar duas variáveis: a primeira é a medição de uma série de variáveis físicas (massa, espessura e aspecto geral) para se estabelecer um critério adequado para avaliar sua degradação; a segunda consiste na determinação dos agentes externos que degradam o material (como chuva, temperatura e umidade). O conjunto desses fatores e o tempo de exposição determinarão o envelhecimento do material.

Inicialmente, o intemperismo causa a madeira e aos produtos de madeira mudanças de coloração, decorrentes da lixiviação dos extrativos solúveis em água, alterações químicas, e descoloração da superfície por microorganismos. Posteriormente, a madeira apresenta rachaduras superficiais e fissuras nas extremidades (WILLIAMS, 2005).

A madeira modificada termicamente adquire coloração cinza após a exposição ao sol e aos raios ultravioletas por algumas semanas. Supõe-se, geralmente, que essa cor cinza é mais homogênea do que para a madeira natural. Rachaduras causadas pela movimentação dimensional ocorrem em menor intensidade em comparação com a madeira natural (COST ACTION E22, 2001; MENZ HOLZ, 2012; PLATOWOOD, 2012).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL, PROCESSO DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E TRATAMENTOS AVALIADOS

A madeira avaliada foi fornecida pela empresa *TWBrazil*, localizada Ponta Grossa, Paraná, referente às espécies *Pinus taeda*, *Eucalyptus grandis* e *Tectona grandis*.

A madeira já serrada e seca artificialmente a 10% de umidade com dimensões nominais de 30 x 80 x 700 mm (espessura, largura e comprimento), e foram utilizadas 60 peças por tratamento. Em seguida, a madeira foi modificada termicamente a 140 e 160°C de temperatura final de ciclo pelo processo higrotérmico VAP HolzSysteme[®], na mesma empresa, que é a detentora da patente do processo.

A modificação térmica foi realizada conforme metodologia da empresa, e na FIGURA 4 há um exemplo do processo adotado.

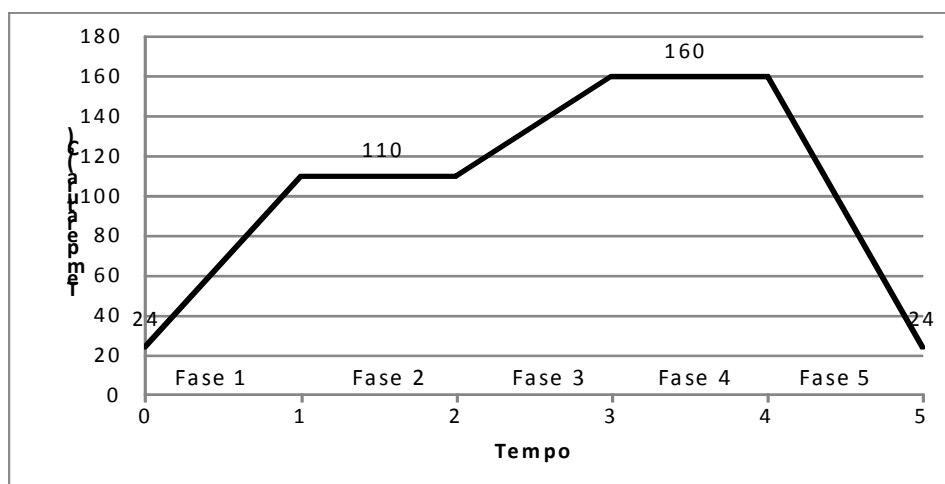


FIGURA 4 – PROGRAMA DO PROCESSO DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA VAP HolzSysteme[®]
 FONTE: Batista (2012).

A descrição das fases do programa encontra-se a seguir (BATISTA, 2012):

Fase 1 – Aquecimento inicial: é o início do processo, em que a madeira já carregada no equipamento, começa a ser aquecida juntamente com todo o sistema, de acordo com uma taxa de aquecimento ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$). O tempo de duração é variável, de acordo com a taxa de aquecimento.

Fase 2 – Temperatura constante: esta é a primeira fase de temperatura constante, a 110°C , por 25 minutos, com taxa de aquecimento nula.

Fase 3 – Aquecimento secundário: após a fase 2, inicia-se uma nova fase de aquecimento, de acordo com uma determinada taxa de aquecimento. O tempo de duração é determinado pela taxa de aquecimento e permanece até atingir a temperatura máxima pré-estabelecida.

Fase 4 – Modificação térmica: etapa da modificação térmica propriamente dita. A temperatura máxima pré-determinada é mantida constante por 45 minutos.

Fase 5 – Resfriamento: corresponde ao resfriamento, que ocorre naturalmente após a fase 4.

Foram avaliados três tratamentos para cada espécie e a interação entre fatores. A testemunha refere-se a madeira natural, o tratamento um (T1) refere-se a madeira modificada a 140°C e o tratamento 2 (T2), a madeira modificada a 160°C (QUADRO 1).

QUADRO 1 – FATORES ANALISADOS.

FATORES		TRATAMENTO
ESPÉCIE	TEMPERATURA	
<i>Pinus taeda</i>	Madeira natural	Testemunha
	140°C	T1
	160°C	T2
<i>Eucalyptus grandis</i>	Madeira natural	Testemunha
	140°C	T1
	160°C	T2
<i>Tectona grandis</i>	Madeira natural	Testemunha
	140°C	T1
	160°C	T2

FONTE: O AUTOR (2013).

4.2 ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química da Madeira da Universidade Federal do Paraná.

Para cada espécie e tratamento, foram utilizadas 60 gramas de serragem retida na peneira de 60 *mesh* e que passou pela de 40, em concordância a norma T264 cm (TAPPI, 1997), As análises foram realizadas com seis repetições por tratamento.

Todas as análises químicas da madeira foram realizadas de acordo com as normas da *Technical Association of the Pulp and Paper Industry* (TAPPI), e apresentadas no QUADRO 2.

QUADRO 2 – ANÁLISES QUÍMICAS E RESPECTIVAS NORMAS UTILIZADAS.

ANÁLISE QUÍMICA	NORMA
Teor de extrativos solúveis em solventes orgânicos neutros (etanol:tolueno a 1:2)	T204 cm (TAPPI,1997)
Teor de lignina insolúvel	T222 om (TAPPI,2002)
Teor de cinza	T211 om (TAPPI,2002)
Solubilidade em hidróxido de sódio (NaOH a 1%)	T212 om (TAPPI,2002)
pH	Adaptação T252- om (TAPPI, 2002)

FONTE: O AUTOR (2013).

O teor de cinza foi determinado apenas para o cálculo do teor de holocelulose. Pois, segundo Batista (2012), o teor de cinza não é afetado pela modificação térmica.

O teor de holocelulose foi obtido por diferença, em que holocelulose (%) = 100 - (lignina insolúvel + extrativos totais + cinza).

4.3 ESTABILIDADE DIMENSIONAL E MASSA ESPECÍFICA

Os ensaios de estabilidade dimensional e massa específica foram realizados no Laboratório de Secagem da Madeira da Universidade Federal do Paraná.

Foram selecionadas cinco peças livres de defeito por tratamento, retirando-se dois corpos de prova por peça, com dimensões nominais de 25 x 25 x 100 mm (tangencial, radial, longitudinal), devidamente orientados (FIGURA 5), conforme a norma 462 (COPANT, 1972), totalizando dez corpos de prova por tratamento.

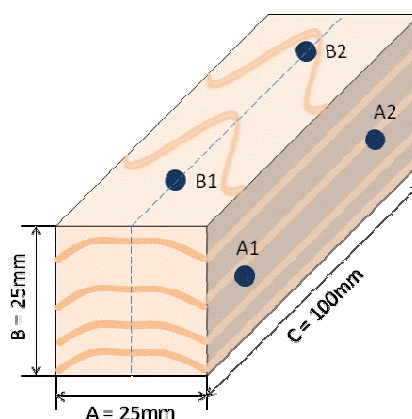


FIGURA 5 – CORPO DE PROVA DOS ENSAIOS DE ESTABILIDADE DIMENSIONAL E MASSA ESPECÍFICA.
FONTE: O AUTOR (2013).

Primeiramente, os corpos de prova foram pesados em balança analítica com precisão de 0,01 gramas (massa inicial) e medidas as dimensões iniciais tangencial, radial e longitudinal nas respectivas marcações, conforme a FIGURA 5. Para isto, utilizou-se um micrômetro digital com precisão de 0,01mm (dimensões radial e tangencial) e um paquímetro digital com precisão de 0,01mm (dimensão longitudinal). Em seguida, o material foi colocado em uma estufa com circulação de ar, com temperatura inicial de 60°C, aumentando-se gradativamente para 80°C, até 103°C ($\pm 2^\circ\text{C}$), em que foram mantidas nesta temperatura até os corpos de prova atingirem massa constante. Depois, a massa e as dimensões anidras foram determinadas, conforme o

mesmo procedimento, determinando-se a umidade inicial de cada tratamento pelo método gravimétrico.

Em seguida, o material foi armazenado em uma câmara climática a temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65\pm 3\%$ de umidade relativa, (aproximadamente 12% de umidade de equilíbrio), e tiveram suas massas avaliadas em intervalos de dois dias em balança analítica (0,01 grama precisão) até atingirem massa constante. Depois da estabilização, as dimensões foram novamente medidas nas três direções estruturais.

Ainda na câmara climática, o material foi submetido à outra condição, a temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $83\pm 3\%$ (aproximadamente 17,1% de umidade de equilíbrio) e assim permaneceram até massa constante. Nesta condição, ocorreu nova medição de dimensões.

Por fim, os corpos de prova foram imersos em água destilada por um período de quatro semanas, até saturação, situação na qual ocorreu a última determinação da massa e das dimensões (FIGURA 6).

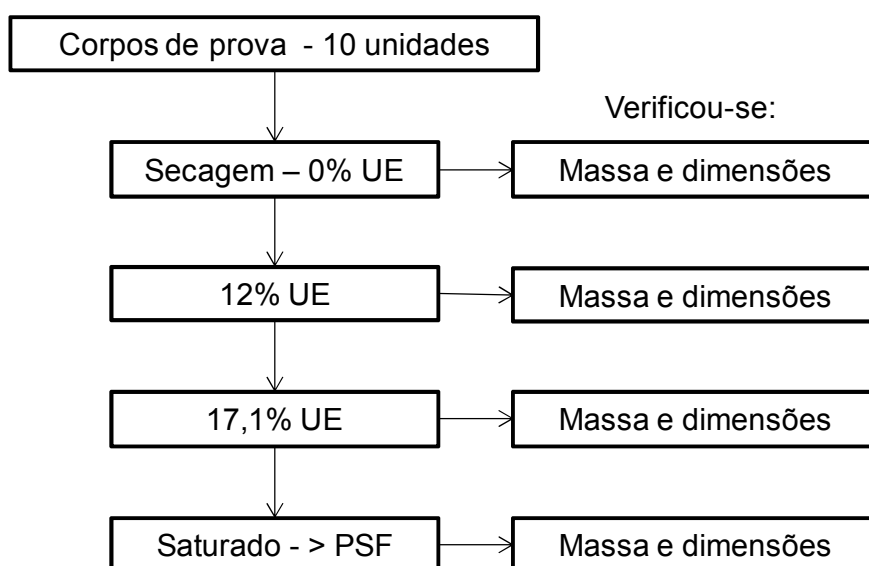


FIGURA 6 – FLUXOGRAMA DO ENSAIO DE ESTABILIDADE DIMENSIONAL.
 FONTE: O AUTOR (2013).

Calculou-se o inchamento total (radial, tangencial, longitudinal e volumétrico), as massas específicas aparentes (0, 12 e 17,1%) e a anisotropia de inchamento. Foram obtidas as umidades iniciais e em cada condição de equilíbrio com o ambiente (12 e 17,1%), com base nas EQUAÇÕES 4.1 a 4.4.

$$\alpha_{(t,r,l,v)} = \frac{(D_{\text{saturada}} - D_{0\%})}{D_{0\%}} \quad (4.1)$$

$$MEap_{U\%} = \frac{m_{U\%}}{v_{U\%}} \quad (4.2)$$

$$U_{U\%} = \frac{(m_{U\%} - m_{0\%})}{m_{0\%}} \times 100 \quad (4.3)$$

$$A_i = \frac{\alpha_t}{\alpha_r} \quad (4.4)$$

Em que:

$\alpha_{(t,r,l,v)}$: inchamento total tangencial, radial, longitudinal ou volumétrico (%);

D_{saturado} : dimensão na condição saturada (mm);

$D_{0\%}$: dimensão na condição 0% de umidade de equilíbrio (mm);

$MEap_{U\%}$: massa específica aparente da madeira a umidade U% (g/cm³);

$m_{U\%}$: massa na condição estabilizada na câmara climática (g);

$v_{U\%}$: volume na condição estabilizada na câmara climática (cm³);

$U_{U\%}$: teor de umidade da madeira estabilizada na câmara climática a umidade U% (%);

A_i : anisotropia de inchamento;

α_t : inchamento tangencial total (%);

α_r : inchamento radial total (%).

4.4 BIODETERIORAÇÃO DA MADEIRA

O ensaio de biodeterioração foi realizado no Laboratório de Patologia Florestal da Embrapa Florestas, Colombo, PR. Os corpos de prova foram confeccionados com 19 x 19 x 19 mm conforme a norma ASTM D 1413 (ASTM, 1994), foram acondicionados em estufa com circulação forçada de ar a 103 °C, até atingirem massa constante. Posteriormente, tiveram a massa inicial (Mi) determinada em balança analítica com precisão de 0,001 grama .

Para cada tratamento, foram ensaiados 36 corpos de prova, sendo 12 para o ensaio com o fungo *Lentinula edodes*, 12 para o fungo *Pleurotus djamor*, ambos causadores de podridão branca, e 12 blocos de correção (testemunha).

Estes blocos de correção foram utilizados para verificar a perda de massa natural das amostras.

Os fungos *Lentinula edodes* e *Pleurotus djamor* da coleção do Laboratório de Microbiologia da Embrapa Florestas foram utilizados para o ensaio. Em capela de fluxo laminar, os isolados foram repicados para três placas de Petri descartáveis contendo meio BDA (39 g de extrato comercial de batata-dextrose-ágar, 1000 mL de água ultrapurificada) para crescimento e produção dos inóculos. Discos de micélio-ágar de cinco milímetros de diâmetro foram retirados de placas puras e transferidos para a superfície de outras placas contendo meio BDA, obtendo-se assim, culturas puras e ativas dos fungos.

Para a condução do ensaio foram utilizados frascos de vidro transparente, com boca larga, tampa rosqueável de metal com um orifício de um centímetro de diâmetro e capacidade de 250 mL, contendo 50 mL de meio BDA. A esterilização dos frascos com meio foi feita em autoclave a 121°C e um atmosfera por 20 minutos. Em cada frasco, transferiu-se um disco de micélio-ágar de cinco mm de diâmetro dos fungos *Lentinula edodes* e *Pleurotus djamor*, separadamente.

Após o total crescimento dos fungos sobre a superfície do meio, os corpos de prova das espécies de *Pinus taeda*, *Eucalyptus grandis* e *Tectona grandis* foram colocados dois a dois no interior de cada frasco, sobre a superfície micelial, e o frasco foi tampado. No orifício das tampas foi colocado uma mecha de algodão para permitir a troca gasosa. Adicionalmente, foram preparados seis frascos por tratamento sem os fungos, para servirem de controle.

Depois de preparados, os frascos foram mantidos durante oito semanas em uma câmara BOD com temperatura controlada de 24 ± 2 °C e umidade relativa de $70 \pm 5\%$. Ao final deste período, os corpos de prova foram colocados em estufa a 103 °C até massa constante para determinação da perda de massa (EQUAÇÃO 4.5).

$$PM = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100 \quad (4.5)$$

Em que:

PM_{cp} : perda de massa do corpo de prova, (%);

M_i : massa inicial (g);

M_f : massa final (g).

A perda de massa final foi calculada conforme a EQUAÇÃO 4.6.

$$PM = PMt - PMbc \quad (4.6)$$

Em que:

PM: perda de massa final (%);

PMt: perda de massa total (%);

PMbc: perda de massa média dos blocos de correção (%).

4.5 INTEMPERISMO NATURAL

O ensaio de intemperismo natural foi realizado em Curitiba, Paraná, na parte externa do prédio do Centro de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Paraná.

Foram coletados os dados meteorológicos de temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação, disponibilizados pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), que foram confrontados com as variações de umidade e dimensões do material de estudo.

4.5.1 Painéis

Para este ensaio foram produzidos seis painéis compostos por 18 peças (duas por tratamento), distribuídas aleatoriamente. As dimensões das peças e a representação dos furos de parafusos passantes encontram-se na FIGURA 7, e na FIGURA 8 encontra-se a representação de um painel pronto.

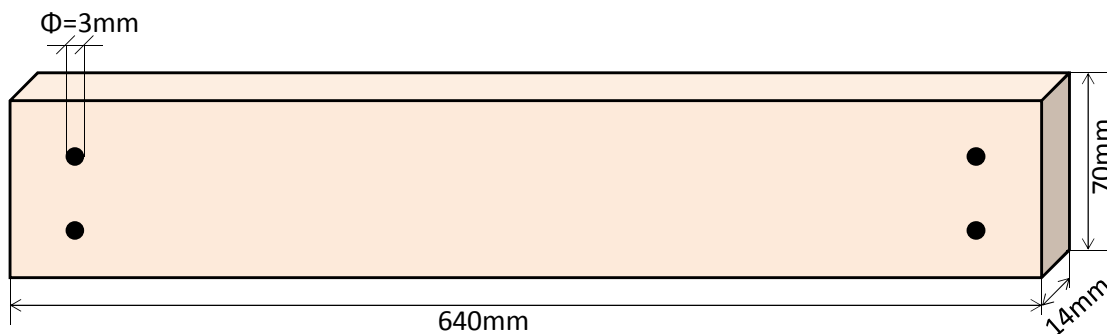


FIGURA 7 – PEÇA UTILIZADA NA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS EXPOSTOS AO INTEMPERISMO NATURAL
 FONTE: O autor (2013).

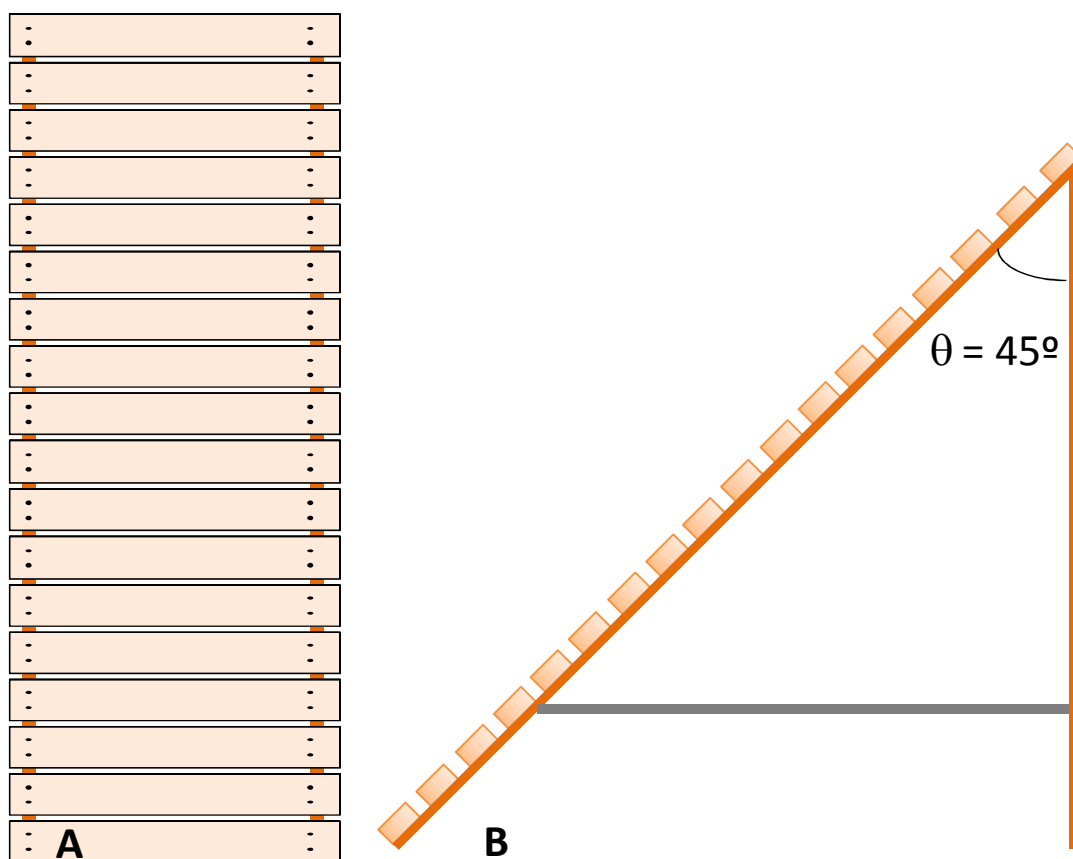


FIGURA 8 – REPRESENTAÇÃO DE UM DOS PAINÉIS EXPOSTOS AO INTEMPERISMO NATURAL; **A** – FACE FRONTAL, **B** – FACE LATERAL .
 FONTE: O autor (2013).

Os painéis foram dispostos conforme adaptação da parte 3 da norma EN 927-3 (EUROPEAN STANDARD, 2000), que diz respeito ao ensaio de intemperismo natural, a 45° em relação a superfície, virado para o norte.

Antes da exposição dos painéis, as peças foram avaliadas de acordo com a presença de rachaduras e manchas de fungos. Mediram-se a massa,

em balança analítica de 0,01g de precisão, a espessura e a largura (com paquímetro digital de precisão igual 0,001mm) e o comprimento (com trena de precisão 1mm).

Os painéis foram expostos por seis meses, realizando-se avaliações a cada quatro semanas. Em cada avaliação, uma peça de cada tratamento por painel foi retirada e verificou-se a massa, dimensões e defeitos (rachaduras, empenamentos e quebra), além de outras eventualidades, como a presença de fungos, por exemplo.

As peças de cada avaliação foram aplainadas, removendo-se dois milímetros de espessura da face exposta ao intemperismo, em que o cepilho produzido foi coletado. O material coletado foi reduzido a serragem, a qual foi classificada conforme norma T212 (TAPPI, 2000), para a realização do ensaio de solubilidade em hidróxido de sódio (conforme norma já citada), para verificar o nível de degradação do material exposto.

4.5.2 Mini *decks*

Para este ensaio foram produzidos dois mini *decks* por tratamento, cada um contendo oito peças com dimensões de 14 x 70 x 420mm (espessura, largura e comprimento). As três peças inferiores tinham dez furos com parafusos passantes, ao passo que as cinco superiores tinham seis furos com parafusos não passantes, conforme apresentado na FIGURA 9. Na FIGURA 10 encontra-se a representação de um dos mini *decks* montado.

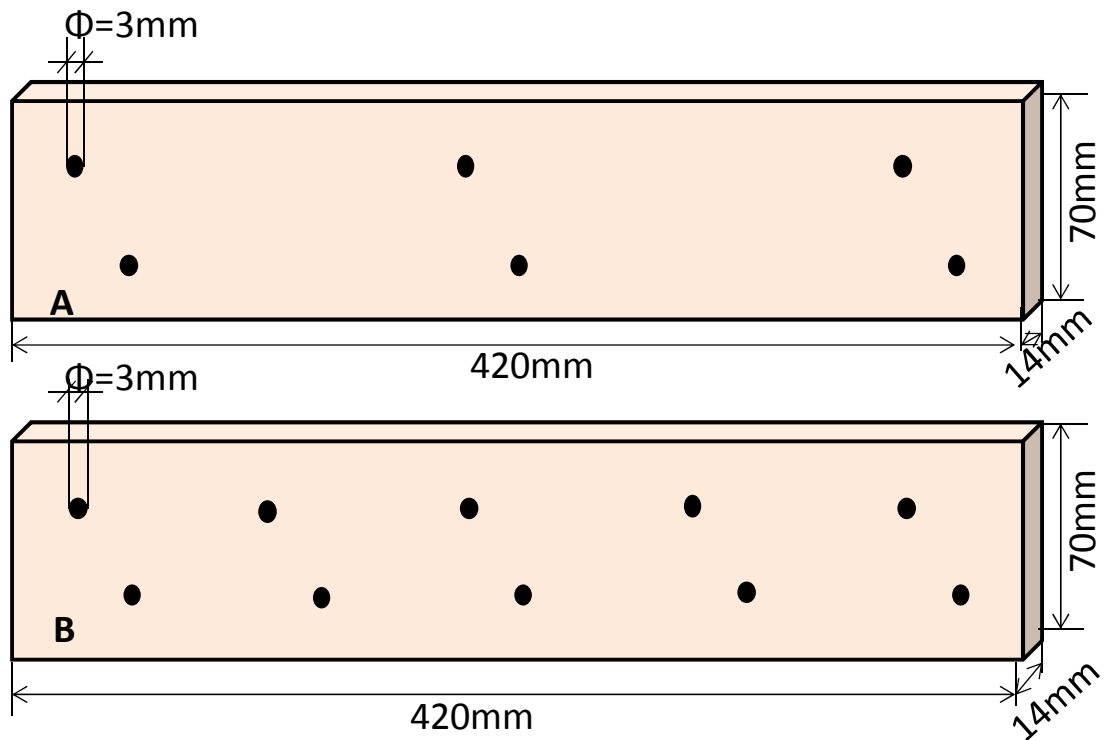


FIGURA 9 – PEÇAS INFERIORES (A) E SUPERIORES (B) UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DOS MINI DECKS
 FONTE: O AUTOR (2013).

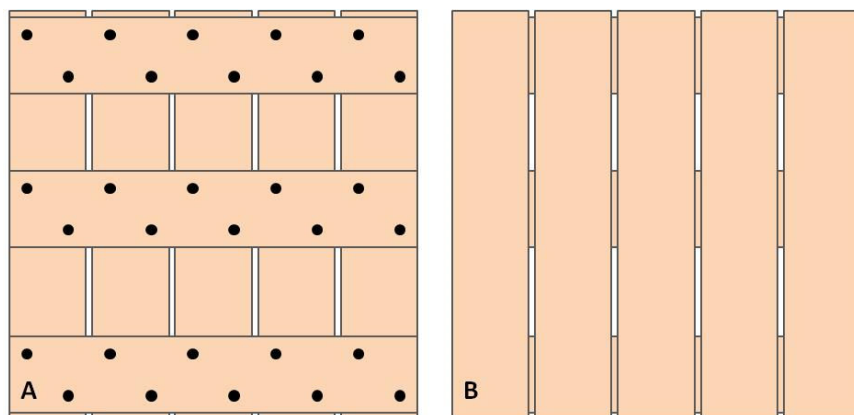


FIGURA 1110 – MINI DECKS PRONTOS: FACES INFERIOR (A) E SUPERIOR (B)
 FONTE: O AUTOR (2013).

Antes da exposição dos mini decks, cada peça foi avaliada da mesma forma que as utilizadas na produção dos painéis. Os mini decks foram expostos por seis meses, colocados sobre uma área gramada e ficaram sujeitos ao intemperismo natural e ao desgaste mecânico causado pelo tráfego de pedestres.

A cada quatro semanas, um mini *deck* por tratamento foi retirado para a realização das mesmas avaliações que as peças utilizadas na produção dos painéis.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada em delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial, em que foram analisados os seguintes fatores: espécie, com três níveis; tratamento, com três níveis; e para cada ensaio utilizou-se uma determinada quantidade de repetições.

O nível de significância adotado foi de até $p > 0,05$ para todos os testes. O teste de Bartlett foi utilizado para verificar a homogeneidade de variâncias, previamente à realização da análise de variância (ANOVA). Nos casos em que a hipótese da nulidade foi rejeitada na ANOVA, empregou-se o teste Tukey para diferenciação das médias.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 QUÍMICA DA MADEIRA

As alterações químicas nos teores de holocelulose, lignina, extrativos totais e cinza, referentes às espécies e respectivos tratamentos de estudo estão descritos na TABELA 8.

TABELA 2 – RESULTADOS DA ANÁLISE QUÍMICA POR ESPÉCIE E TRATAMENTO

ESPÉCIE	HOLOCELULOSE (%)			LIGNINA (%)			EXTRATIVOS TOTAIS (%)		
	TEST	T1	T2	TEST	T1	T2	TEST	T1	T2
<i>Pinus taeda</i>	64,8 bA	49,7 cB	47,1 bC	29,4 bC	32,1 aB	34,3aA	5,5 bC	17,6 aB	18,2 cA
<i>Eucayptus grandis</i>	71,8 aA	61,7aB	48,7 aC	25,9 cC	32,4 aA	30,6 bB	2,0 cC	5,8 cB	20,4 aA
<i>Tectona grandis</i>	59,4 cA	58,95 bA	45,1 cB	32,1 aB	31,6 aB	34,3 aA	7,5 aC	8,5 bB	19,4 bA
Teste Bartlett - interação	6,520 ^{ns}			1,212 ^{ns}			6,313 ^{ns}		
ANOVA – F - interação	232,3 ^{**}			43,4 ^{**}			1247,67 ^{**}		
C. V. (%)	1,25			2,18			2,39		

Classificação com letras maiúsculas para os tratamentos (linhas) e com letras minúsculas para as espécies (colunas) pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ns: não significativo ($p > 0,05$). ** significativo ($p > 0,01$). Sendo, Test: madeira na condição normal; T1: modificação a 140°C; T2: modificação a 160°C.

Fonte: O AUTOR (2013).

Para todos os parâmetros, de acordo com o teste de Bartlett, as variâncias foram homogêneas e assim aplicou-se a análise de variância (ANOVA). Em concordância com o teste F, pelo menos uma das médias para cada análise química foi diferente. Esta diferença foi encontrada pelo teste de Tukey em nível de 95% de confiança.

O processo de modificação térmica alterou a proporção dos compostos químicos das espécies estudadas.

O teor de holocelulose reduziu para as três espécies, ocorrendo uma maior degradação do composto a 160°C. A maior redução do teor de holocelulose entre testemunha e 160°C foi no eucalipto (32,17%), seguida do *Pinus taeda* (27,31%) e *Tectona grandis* (24,01%).

As perdas de holocelulose ocorreram provavelmente pela degradação das hemiceluloses que acabaram contribuindo para o aumento no teor de extrativos totais. Conforme afirmam Bourgeois *et al.*(1989) e Sundqvist (2004), que ao aquecer a madeira, o teor de holocelulose é reduzido, sendo que, primeiramente, é consumida a hemicelulose. A celulose dificilmente é danificada as temperaturas de tratamento.

Na FIGURA 11 pode ser observada a influência da temperatura no teor médio de holocelulose das espécies e respectivos tratamentos.

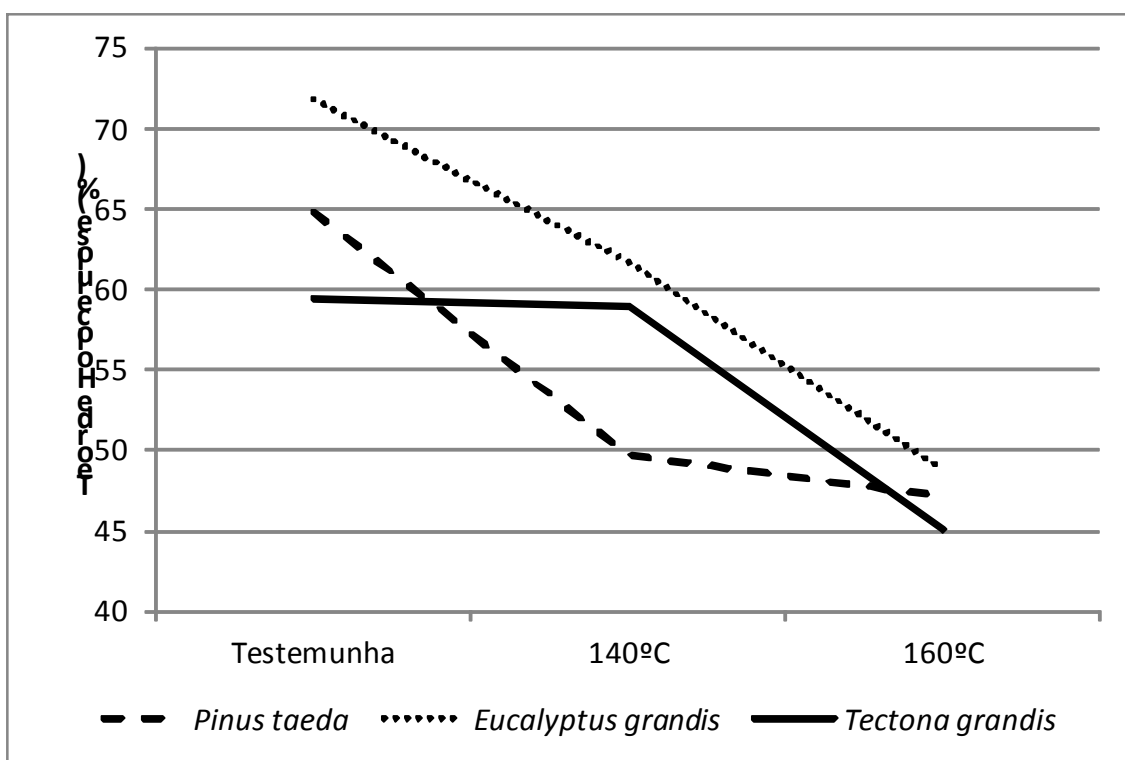


FIGURA 11 – TEOR MÉDIO DE HOLOCELULOSE DAS ESPÉCIES POR TRATAMENTO
 FONTE: O AUTOR (2013).

É possível visualizar na FIGURA 11 o quanto foi reduzido o teor de holocelulose atingindo resultados abaixo de 50% para todas as espécies. A madeira de *Pinus taeda* é mais sensível à temperatura de 140°C, reduzindo o teor de holocelulose abaixo de 50% a esta temperatura.

Andrade (2011) também verificou uma redução no teor de holocelulose em função do aumento da temperatura de processo de termorreificação para o gênero *Pinus* sp de até 13,5%.

Da mesma forma, Soratto (2012) encontrou esta tendência de redução no teor de holocelulose em diferentes métodos e temperaturas de termorreificação em *Eucalyptus* sp.

Batista (2012) constatou uma redução de 2,69%, para a temperatura a 140°C, e 23,0%, a 160°C, ambas correspondentes ao teor de holocelulose de madeira de *Eucalyptus grandis* modificada termicamente.

Lengowski (2011) encontrou teores médios de holocelulose semelhantes para madeira modificada à 160°C de *Pinus taeda*, *Eucalyptus grandis* e *Tectona grandis*, de 65,47, 59,14 e 49,07%, respectivamente, e também, verificou redução no teor deste composto em relação a madeira natural.

Houve uma tendência de aumento do teor de lignina com o aumento da temperatura de modificação térmica. O maior aumento foi de 25,09% e ocorreu na espécie de *Eucalyptus grandis* modificado a 140°C em relação à testemunha. Já o menor aumento foi de 6,85%, na teca a 160°C em relação à testemunha.

Este aumento no teor de lignina deve-se ao fato de ter ocorrido a redução do teor de holocelulose e conseqüentemente o aumento da proporção relativa de lignina na madeira modificada, confirmando a teoria de Fengel e Wegener (1989), no qual afirmam que o teor aparente de lignina na madeira começa a aumentar a 140-150°C.

Assim como encontrado neste trabalho, Andrade (2013), também, observou um aumento no teor aparente de lignina com o aumento da temperatura para *Pinus taeda*, sendo o maior aumento de 27,10%.

Batista (2012), Soratto (2012), constataram aumento do teor aparente de lignina para a espécie de *Eucalyptus grandis*, o maior aumento em relação a testemunha foi de 10,2% para a temperatura de 180°C e 20,28% para 220°C e método N₂, respectivamente.

Resultados semelhantes apresentou Lengowski (2011) para madeira modificada a 160°C das espécies de *Pinus taeda*, *Eucalyptus grandis* e *Tectona grandis*, respectivamente, 31,51, 30,07 e 32,56%.

O teor de material extraído aumentou em todas as espécies (FIGURA 12), havendo um maior aumento a temperatura de 160°C. O maior aumento no teor de extrativos totais entre testemunha e 160°C ocorreu para a espécie *Eucalyptus grandis*, 920% e o menor aumento, foi de 158,67%, para *Tectona grandis*.

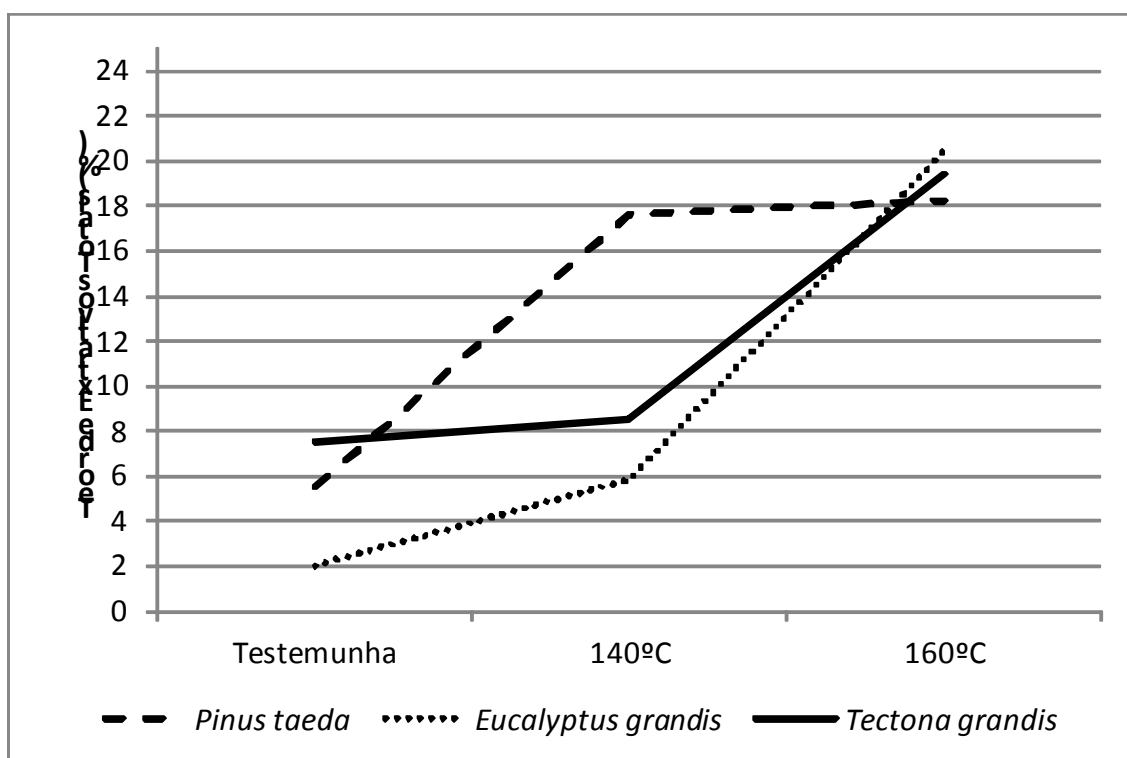


FIGURA 12 – TEOR MÉDIO DE EXTRATIVOS TOTAIS DAS ESPÉCIES POR TRATAMENTO
 FONTE: O AUTOR (2013).

Este aumento no teor de extrativos é decorrente da degradação térmica da holocelulose e lignina, os quais formam novos extrativos (Esteves *et al.*, 2008). Por causa da sensibilidade da holocelulose do *Pinus taeda* à temperatura de 140°C, os extrativos totais aumentaram mais (220%) que nas outras espécies.

Lengowski (2011) e Andrade (2013), estudando a composição da madeira modificada térmicamente determinaram um aumento do teor de extrativos totais com o aumento da temperatura, assim com neste trabalho.

Porém, Lengowski encontrou valores médios de extrativos totais sem e com tratamento de 2,54 e 3,54%, respectivamente e Andrade, 2,83% para testemunha e 3,87 para a temperatura máxima de processo. Ambos os resultados inferiores aos apresentados neste trabalho.

Os extrativos totais de *Eucalyptus grandis* passaram de 2,0 para 20,4% quando aplicada a temperatura de 160 °C, semelhante ao obtido por Batista (2012) para a mesma espécie, que obteve 2,22 e 19,04% para Testemunha e 160°C, respectivamente Já, Lengowski (2011) encontrou 6,77 e 9,79%, para mesma espécie sem e com tratamento, respectivamente.

O teor de extrativos totais na madeira de *Tectona grandis* modificada a 160°C, alcançou 16,39% para Lengowski (2011), sendo este teor inferior em 15,5% em relação ao apresentado neste estudo.

Na TABELA 3 encontram-se os resultados de solubilidade em NaOH a 1% dos tratamentos estudados.

TABELA 3 – MÉDIAS DA SOLUBILIDADE EM NaOH A 1% POR TRATAMENTO

ESPÉCIE	SOLUBILIDADE EM NaOH A 1% (%)		
	TEST	T1	T2
<i>Pinus taeda</i>	11,88 bC	24,80 aA	23,78 cB
<i>Eucalyptus grandis</i>	10,32 cC	18,50 bB	35,56 aA
<i>Tectona grandis</i>	14,98 aC	16,89 cB	30,15 bA
Teste de Bartlett - Interação	0,644 ^{ns}		
ANOVA – Teste F - Interação	39,869 ^{**}		
CV (%) - Interação	0,99		

Classificação com letras maiúsculas para os tratamentos (linhas) e com letras minúsculas para as espécies (colunas) pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ns: não significativo a 5%. ** significativo ao nível de 1%. Sendo, T1: Temperatura 140°C; T2: Temperatura a 160°C (%).

Fonte: O AUTOR (2013).

Observa-se pela TABELA 3 que não houve igualdade estatística na interação entre espécie e tratamento. E, existe uma tendência de elevação de material solúvel em NaOH 1% com o aumento da temperatura (FIGURA 13).

A diferença de solubilidade entre as espécies já era esperado visto que cada uma tem seu arranjo anatômico e químico específico.

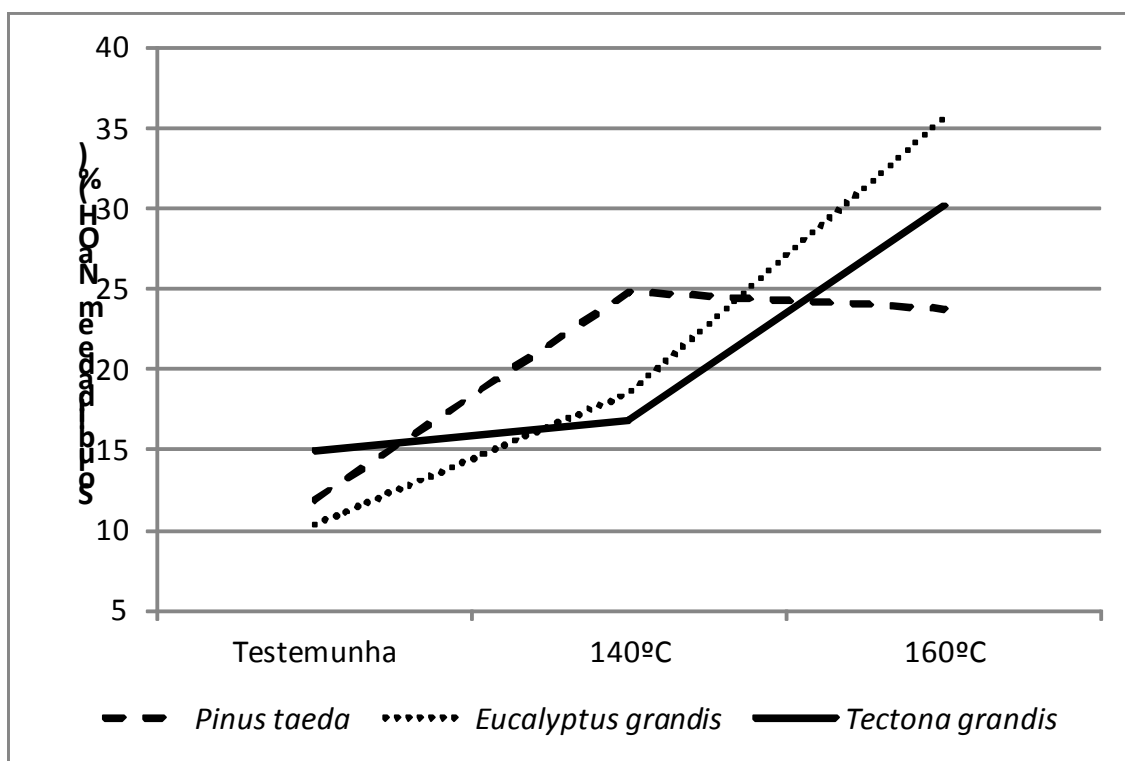


FIGURA 13 – SOLUBILIDADE MÉDIA EM NaOH DAS ESPÉCIES POR TRATAMENTO.
 FONTE: O AUTOR (2013).

A madeira de *Pinus taeda* apresentou maior sensibilidade à temperatura 140°C (T1), aumentando a solubilidade em 12,92 pontos percentuais, contudo, este aumento na solubilidade é semelhante para temperatura de 160°C (T2), 11,9 pontos percentuais, mas estatisticamente diferentes. Este comportamento não é apresentado nas outras espécies de estudo. Já as espécies *Eucalyptus grandis* e *Tectona grandis* apresentaram aumento de 25,25 e 15,17 pontos percentuais da testemunha para a temperatura a 160°C, respectivamente, na solubilidade em NaOH 1%.

Este aumento da solubilidade em NaOH a 1% com o aumento da temperatura final de processo verifica-se no estudo de Batista (2012), de maneira semelhante ao presente trabalho. A solubilidade da madeira natural de *Eucalyptus grandis* foi de 12,38%, e de 18,77 e 33,81%, respectivamente para as temperaturas de 140 e 160°C.

O NaOH a 1% é responsável, além da fração solubilizada em água, ele solubiliza maiores quantidade de carboidratos de baixo peso molecular, as hemiceluloses e as celuloses degradadas. Portanto, a solubilidade em NaOH a 1%, também, indica o nível atual de degradação da fração extraída.

Portanto, o *Eucalyptus grandis* (35,56%) foi a espécie mais degradada com a ação da modificação térmica, seguido por *Tectona grandis* e *Pinus taeda*, com 30,15 e 24,8%, respectivamente. Este fato do eucalipto pode ter ligação com a redução do teor de holocelulose da espécie, devido a produção de hemiceluloses e celuloses degradadas decorrentes do aquecimento da madeira.

Na TABELA 4, estão apresentadas as médias de pH da madeira após 2 e 24 horas em banho-maria, conforme adaptação da metodologia descrita no QUADRO 2.

TABELA 4– MÉDIAS DO pH DA MADEIRA POR TRATAMENTO

ESPÉCIE	pH 2 horas			pH 24 horas		
	TEST	T1	T2	TEST	T1	T2
<i>Pinus taeda</i>	4,84 bA	4,10 bB	3,75 bC	4,59 bA	4,08 bB	3,77 bC
<i>Eucalyptus grandis</i>	4,35 cA	3,85 cB	3,78 bC	4,34 cA	3,86 cB	3,70 cC
<i>Tectona grandis</i>	5,20 aA	5,09 aB	4,53 aC	5,42 aA	5,08 aB	4,53 aC
Teste de Bartlett - Interação	7,666 ^{ns}			10,170 ^{ns}		
ANOVA – Teste F - Interação	111,1 ^{**}			45,2 ^{**}		
CV (%) - Interação	1,06			0,86		

Classificação com letras maiúsculas para os tratamentos (linhas) e com letras minúsculas para as espécies (colunas) pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ns: não significativo ($p > 0,05$). ** significativo ($p > 0,01$). Sendo, Test: madeira na condição normal; T1: modificação a 140°C; T2: modificação a 160°C.

Fonte: O AUTOR (2013).

De acordo com os resultados apresentados na TABELA 4, conforme aumenta a temperatura final do processo de modificação, a madeira se torna mais ácida. Na verificação de 2 horas, o *Pinus taeda* reduz 18,05 e 29,07% da Testemunha para os tratamentos T1 e T2, respectivamente; o *Eucalyptus grandis*, 12,99 e 15,08%; e a *Tectona grandis*, 2,16 e 14,79%.

Na verificação de 24 horas, os tratamentos T1 e T2 reduzem seu pH em relação a Testemunha ao nível de 12,5 e 21,75% para *Pinus taeda*, 12,43 e 17,30% para *Eucalyptus grandis*, e 6,69 e 19,65% para *Tectona grandis*.

Silva (2012) explica que com o aumento da temperatura na modificação térmica ocorre a redução no pH, porque a lignina é degradada, formando grupos fenólicos e a possível hidrólise dos grupos acetilas das

polioses e conseqüente formação de ácido acético. O mesmo autor verificou redução no pH de amostras de peças estruturais das espécies *Corymbia citriodora* e *Pinus taeda* modificadas termicamente, em relação as não tratadas. Da mesma forma, conforme se aumentou a temperatura de processo, a madeira modificada termicamente tornou-se mais ácida.

Boonstra *et al.* (2007) afirmam que as madeiras não tratadas geralmente apresentam um pH próximo à 4,5-5,5 e as modificadas podem atingir um pH de 3,5 a 4,0, devido a produção de ácido acético e fórmico durante a modificação térmica.

A madeira mais ácida influencia principalmente na colagem da madeira modificada, acelerando a cura da colagem UF (Uréia-Formaldeído) e dificulta a colagem FF (Formol-formaldeído) (IWAKIRI, 2005)

Na FIGURA 14 está a relação entre o pH da madeira e o teor de holocelulose e na FIGURA 15, a relação entre solubilidade em NaOH a 1% e o teor de holocelulose.

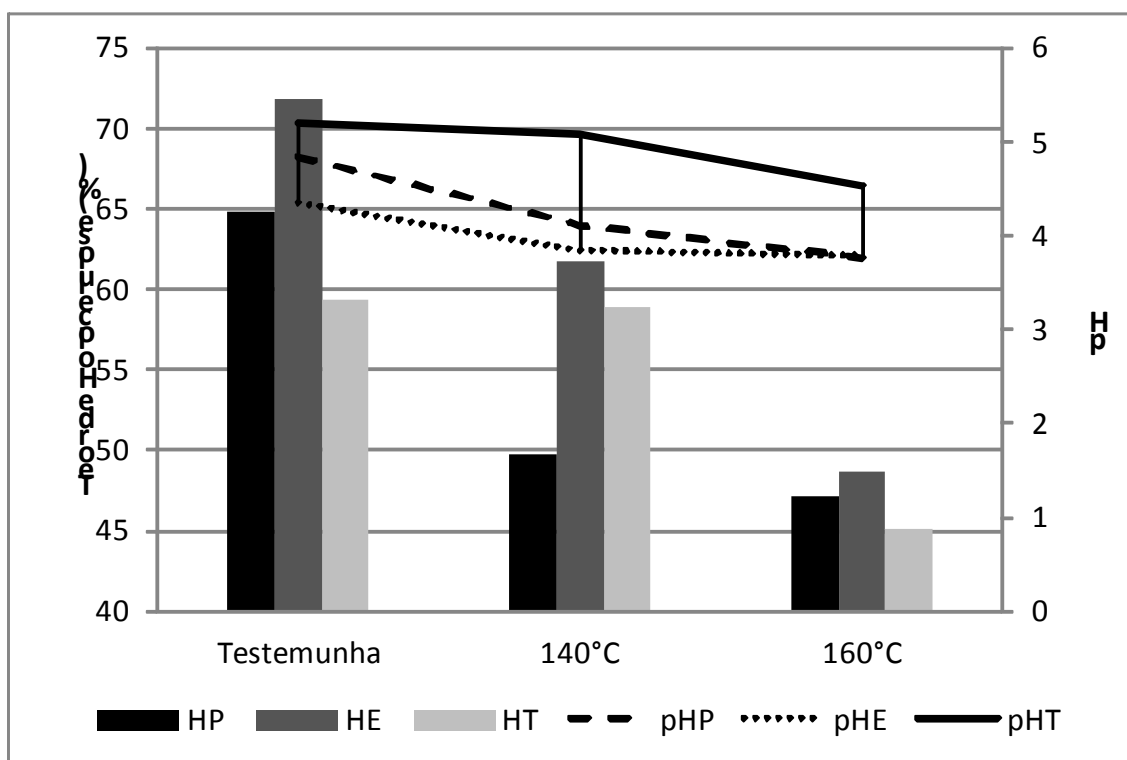


FIGURA 14 – RELAÇÃO ENTRE TEOR DE HOLOCELULOSE E pH DA MADEIRA.. HP: HOLOCELULOSE DE *Pinus taeda*; HE: HOLOCELULOSE DE *Eucalyptus grandis*; HT: HOLOCELULOSE DE *Tectona grandis*; pHP: pH *Pinus taeda*; pHE: pH *Eucalyptus grandis*; pHT: pH *Tectona grandis*. FONTE: O AUTOR (2013).

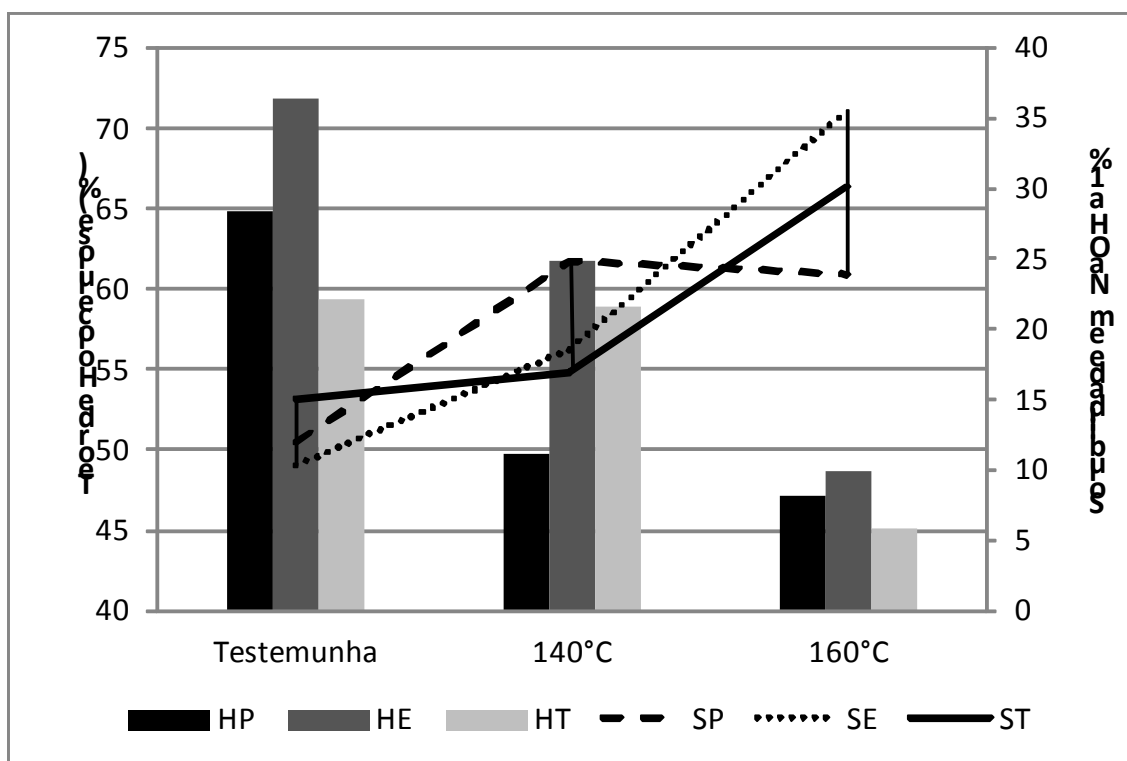


FIGURA 15 – RELAÇÃO ENTRE O TEOR DE HOLOCELULOSE E A SOLUBILIDADE EM HIDRÓXIDO DE SÓDIO A 1%. HP: HOLOCELULOSE DE *Pinus taeda*; HE: HOLOCELULOSE DE *Eucalyptus grandis*; HT: HOLOCELULOSE DE *Tectona grandis*; SP: SOLUBILIDADE EM NaOH a 1% *Pinus taeda*; SE: SOLUBILIDADE EM NaOH a 1% *Eucalyptus grandis*; ST: SOLUBILIDADE EM NaOH a 1% *Tectona grandis*. FONTE: O AUTOR (2013).

Conforme a FIGURA 14, o pH da madeira também reduz conforme reduz a holocelulose, por decorrência de formação de compostos ácidos com a degradação da hemicelulose. De forma inversa (FIGURA 15) ocorre para a solubilidade em hidróxido de sódio a 1%, aumenta a solubilidade com a redução da holocelulose pelo fato de ocorrer quebra de ligações e formação de compostos solúveis a NaOH, mostrando também quanto a madeira é degradada com o processo.

5.2 HIGROSCOPICIDADE DA MADEIRA

Na TABELA 5 encontram-se as médias de umidade inicial dos tratamentos antes da preparação dos corpos de prova dos ensaios físicos. Considerando que toda a madeira foi armazenada nas mesmas condições,

admite-se que os resultados de umidade inicial são uma estimativa da umidade final após o processamento, na mesma tabela também se encontram as médias de umidade atingidas no equilíbrio com a câmara climática regulada a 12 e 17,1%.

TABELA 5 – MÉDIAS DE UMIDADE INICIAL E UMIDADE DE EQUILÍBRIO POR TRATAMENTO

ESPÉCIE	UMIDADE INICIAL (%)			UMIDADE DE EQUILÍBRIO 12% (%)			UMIDADE DE EQUILÍBRIO 17,1% (%)		
	TEST	T1	T2	TEST	T1	T2	TEST	T1	T2
<i>Pinus taeda</i>	16,75 aA	14,03 aB	12,76 aC	11,87 aA	9,95 aB	7,60 aC	18,35 aA	15,00 aB	12,98 aC
<i>Eucalyptus grandis</i>	14,98 bA	14,50 aA	12,10 bB	10,71 bA	9,24 aB	5,26 bC	16,52 bA	14,44 aB	11,19 bC
<i>Tectona grandis</i>	10,71 cB	12,30 bA	9,92 cC	6,56 cA	6,24 bA	2,39 cB	12,53 cA	11,99 bA	7,27 cB
Teste de Bartlett - Interação	8,674 ^{ns}			15,40 ^{ns}			1,949 ^{ns}		
ANOVA – Teste F - Interação	27,81 ^{**}			7,275 ^{**}			10,01 ^{**}		
CV (%) - Interação	5,19			6,92			5,94		

Classificação com letras maiúsculas para os tratamentos (linhas) e com letras minúsculas para as espécies (colunas) pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ns: não significativo ($p > 0,05$). ** significativo ($p > 0,01$). Sendo, Test: madeira na condição normal; T1: modificação a 140°C; T2: modificação a 160°C.

Fonte: O AUTOR (2013).

É possível observar na TABELA 5 a interação entre espécie e tratamentos para cada parâmetro de umidade analisado. A interação mostra que a umidade inicial do tratamento T1 (140°C) é igual para pinus e eucalipto. A testemunha e o tratamento T1 são iguais para a espécie *Eucalyptus grandis*. As demais interações da umidade inicial são diferentes estatisticamente.

Existe uma tendência de redução da umidade de equilíbrio inicial e na condição de umidade de equilíbrio a 17,1% da madeira modificada em relação à madeira natural. Devido à redução no teor de holocelulose da madeira (FIGURA 16). Segundo Brito *et al.* (2006) e Esteves *et al.* (2008) a hemicelulose é o constituinte mais hidrófilo da madeira, sendo também o mais sensível termicamente e o primeiro componente da madeira a ser destruído, levando ao

desaparecimento dos sítios de absorção de água (principalmente grupos hidroxilas), o que induz a uma redução do PSF, no inchamento, na higroscopicidade e melhor estabilidade dimensional da madeira e, portanto, quanto maior a temperatura de modificação térmica, maior a redução na absorção de umidade. Modes (2010) e Borges e Quirino (2004) encontraram a mesma tendência de redução ao estudar termorretificação, em que reduziram a umidade de equilíbrio com o aumento da temperatura final de processo.

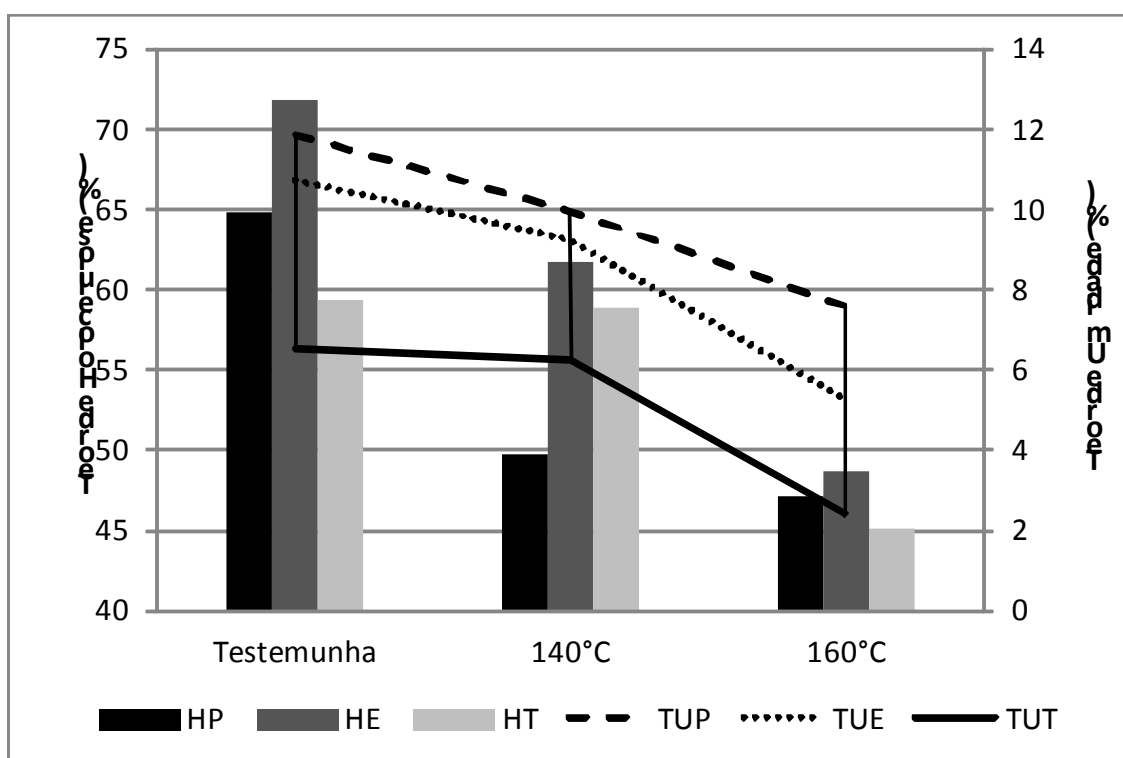


FIGURA 16 – RELAÇÃO ENTRE TEOR DE HOLOCELULOSE E TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA. HP: HOLOCELULOSE DE *Pinus taeda*; HE: HOLOCELULOSE DE *Eucalyptus grandis*; HT: HOLOCELULOSE DE *Tectona grandis*; TUP: TEOR DE UMIDADE *Pinus taeda*; TUE: TEOR DE UMIDADE *Eucalyptus grandis*; TUT: TEOR DE UMIDADE *Tectona grandis*. FONTE: O AUTOR (2013).

Observa-se na FIGURA 16 esta tendência mencionada por Brito *et al.* (2006) e Esteves *et al.* (2008), a qual ocorre a redução no teor de umidade da madeira (12%UE) em decorrência da redução no teor de holo celulose na madeira modificada termicamente.

Analisando-se os dados de higroscopicidade do *Pinus taeda*, a umidade inicial da madeira do tratamento Testemunha foi maior, decrescendo significativamente 19,39 e 31,27%, respectivamente nos tratamentos 140 e

160°C. O mesmo comportamento foi observado para a umidade de equilíbrio a 12%, com reduções de 19,30 e 56,18%, respectivamente para 140 e 160°C.

A madeira de *Pinus taeda* reduziu 3,99 pontos percentuais, já Lengowski (2011), para mesma temperatura e processo, reduziu de 11,47 a 9,76%, sendo estas umidades inferiores às encontradas neste trabalho.

Observando o comportamento da espécie pinus relacionado à umidade de equilíbrio a 17,1%, observa-se que houve uma redução de 18,25% da Testemunha para T1 e 29,26% da Testemunha para T2 na umidade. A madeira de *Eucalyptus grandis* reduziu o teor de umidade inicial.

Observando os dados de higroscopicidade do *Eucalyptus grandis*, a umidade inicial da madeira do tratamento Testemunha foi maior, decrescendo significativamente 3,20 e 19,22%, respectivamente nos tratamentos 140 e 160°C.

O mesmo comportamento foi observado para a umidade de equilíbrio a 12%, com reduções de 13,72 e 50,88%, respectivamente para 140 e 160°C. Lengowski (2011) e Batista (2012) estudando o mesmo processo e temperatura a 160°C encontraram reduções de 11,55 e 34,99%, respectivamente.

O comportamento da madeira de eucalipto a condição de equilíbrio a 17,1% reduziu 12,59 e 32,26% a umidade de equilíbrio a 140 e 160°C, respectivamente, em relação à madeira natural.

Por fim, analisando-se os dados de higroscopicidade do *Tectona grandis*, a umidade inicial da madeira do tratamento Testemunha foi inferior 14,85% no tratamento 140°C e superior 7,37% no tratamento 160°C. Um comportamento semelhante as demais espécies foi observado para a umidade de equilíbrio a 12%, com reduções de 4,88 e 63,56%, respectivamente para 140 e 160°C. Lengowski (2011), para espécie teca obteve uma redução maior de 6,45 pontos percentuais para temperatura 160°C.

5.3 MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA

Na TABELA 6 estão as médias das massas específicas aparentes a 0, 12 e 17,5% e a interação estatística entre espécies e tratamentos.

TABELA 6 - MÉDIAS DAS MASSAS ESPECÍFICAS APARENTES POR TRATAMENTO

ESPÉCIE	MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm ³)								
	ANIDRA			12%			17,10%		
	TEST.	T1	T2	TEST.	T1	T2	TEST.	T1	T2
<i>Pinus taeda</i>	0,49 aA	0,39 bB	0,39 cB	0,52 aA	0,42 bB	0,41 bB	0,54 aA	0,43 bB	0,42 bB
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,49 aB	0,42 bC	0,53 aA	0,51 aA	0,44 bB	0,49 aA	0,52 aA	0,45 bB	0,57 aA
<i>Tectona grandis</i>	0,50 aB	0,55 aA	0,49 bB	0,52 aAB	0,55 aA	0,48 aB	0,55 aAB	0,59 aA	0,52 aB
Teste de Bartlett - Interação	0,829 ^{ns}			15,40 ^{ns}			9,39 ^{ns}		
ANOVA – Teste F – Interação	25,86 ^{**}			7,275 ^{**}			13,904 ^{**}		
CV (%) - Interação	7,49			10,82			10,13		

Classificação com letras maiúsculas para os tratamentos (linhas) e com letras minúsculas para as espécies (colunas) pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ns: não significativo ($p > 0,05$). ** significativo ($p > 0,01$). Sendo, Test: madeira na condição normal; T1: modificação a 140°C; T2: modificação a 160°C.

Fonte: O AUTOR (2013).

As massas específicas aparentes dos tratamentos Testemunha para todas as espécies e condições não diferiram significativamente. Para o tratamento a 140°C, as espécies *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis* não diferiram significativamente para todas as condições e massas específicas aparentes.

Observando-se apenas o *Pinus taeda*, percebe-se que a modificação térmica a 140 e 160°C não teve efeito significativo na densidade aparente.

Para o *Eucalyptus grandis*, nas condições de 12 e 17,5%, não houve diferença significativa entre os tratamentos Testemunha e 160°C; ao passo que para *Tectonagrandis* o mesmo ocorreu na condição de 0% para os tratamentos

Testemunha e 160°C, e nas outras condições, a média do tratamento Testemunha não diferiu dos demais.

A massa específica anidra para *Eucalyptus grandis* difere em apenas 6% para madeira natural da encontrada por Batista (2012), 4,5% para modificada a 140°C e 17% para 160°C.

É possível afirmar que a modificação térmica afeta de forma distinta a massa específica aparente da madeira, e este trabalho foi possível verificar isto.

5.4 ESTABILIDADE DIMENSIONAL

Em estudos de modificação térmica, é comum o estudo da instabilidade dimensional utilizando o inchamento em vez da contração, em que esta é mais comum nos estudos com madeira natural (Calonego (2009), Modes (2010), Batista *et al.* (2011), Batista (2012), Silva (2012) e Soratto (2012).

Na TABELA 7 encontra-se o inchamento tangencial, radial, longitudinal e volumétrico total e a interação entre tratamentos e espécies.

Observa-se que há uma tendência nas espécies de que com o aumento da temperatura de processo, ocorre uma redução do inchamento para todas as condições. Verifica-se, também, uma relação entre o inchamento volumétrico máximo e a higroscopicidade da madeira (12%UE) modificada termicamente (FIGURA 17).

TABELA 7 – MÉDIAS DE INCHAMENTO RADIAL, TANGENCIAL, LONGITUDINAL E VOLUMÉTRICO TOTAL.

INCHAMENTO TOTAL	TRAT	ESPÉCIE			Teste de Bartlett - Interação	ANOVA – Teste F – Interação	CV (%) - Interação
		<i>Pinus taeda</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Tectona grandis</i>			
RADIAL (%)	TEST	5,23 aA	5,26 aA	2,26 bA	1,8439 ^{ns}	15,8152 ^{**}	17,33
	T1	3,08 bB	4,11 aB	2,09 cA			
	T2	3,36 aB	2,65 bC	1,39 cB			
TANGENCIAL (%)	TEST	9,02 aA	9,69 aA	3,99 bA	12,2384 ^{ns}	11,2146 ^{**}	17,25
	T1	5,30 bB	6,75 aB	3,23 cAB			
	T2	5,26 aB	4,66 aC	2,31 bB			
LONGITUDINAL (%)	TEST	0,22 bA	0,29 aA	0,32 aAB	11,105 ^{ns}	4,0662 ^{**}	35,68
	T1	0,22 aA	0,30 abA	0,39 aA			
	T2	0,32 aA	0,23 aA	0,26 aB			
VOLUMÉTRICO (%)	TEST	14,5 aA	15,25 aA	6,40 bA	0,5888 ^{ns}	17,0199 ^{**}	14,64
	T1	8,94 bB	11,16 aB	5,88 cA			
	T2	8,60 aB	7,55 aC	3,95 bB			

Classificação com letras maiúsculas para os tratamentos (colunas) e com letras minúsculas para as espécies (linhas) pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ns: não significativo ($p > 0,05$). ** significativo ($p > 0,01$). Sendo, Test: madeira na condição normal; T1: modificação a 140°C; T2: modificação a 160°C.

Fonte: O AUTOR (2013).

Na FIGURA 17 é possível visualizar a relação direta entre o teor de umidade e o inchamento volumétrico máximo. Em que, com o aumento da temperatura da modificação térmica e consequente degradação da holocelulose ocorre à redução da higroscopicidade que por sua vez diminui o inchamento da madeira, melhorando assim sua estabilidade dimensional.

A espécie *Pinus taeda* apresentou uma redução no inchamento radial, tangencial e volumétrico total de 41,11, 41,24 e 37,92% a 140°C e 35,75, 41,68 e 40,28% a 160°C, respectivamente.

Silva (2012) propondo uma metodologia de modificação térmica a espécie de *Pinus taeda* a 160°C reduziu 26,65% o inchamento volumétrico em relação a testemunha, resultado inferior ao apresentado neste trabalho. Modes (2011), também encontrou redução máxima no inchamento tangencial da madeira termoretificada (7,5) inferior ao indicado na TABELA 7.

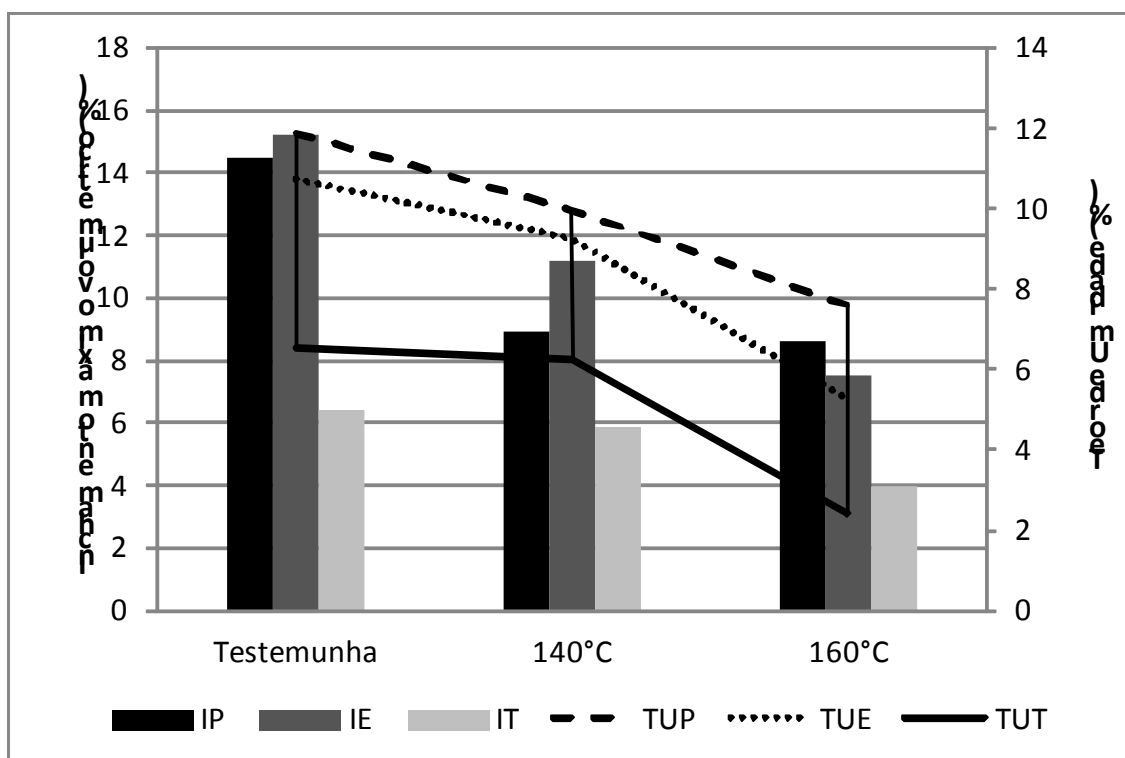


FIGURA 17 – RELAÇÃO ENTRE INCHAMENTO VOLUMÉTRICO MÁXIMO E TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA. IP: INCHAMENTO VOLUMÉTRICO TOTAL *Pinus taeda*; IE: INCHAMENTO VOLUMÉTRICO TOTAL *Eucalyptus grandis*; IT: INCHAMENTO VOLUMÉTRICO TOTAL *Tectona grandis*; TUP: TEOR DE UMIDADE *Pinus taeda*; TUE: TEOR DE UMIDADE *Eucalyptus grandis*; TUT: TEOR DE UMIDADE *Tectona grandis*. FONTE: O AUTOR (2013).

O *Eucalyptus grandis* reduziu 21,86, 30,34 e 26,81% o inchaço radial, tangencial e volumétrico, respectivamente, a 140°C e a 160°C, 46,62, 51,91 e 50,49%, respectivamente.

Resultados semelhantes foram encontrados nos trabalhos de Batista (2012), Calonego (2009) e Modes (2010). Estes autores verificaram a redução da higroscopicidade da madeira e conseqüentemente no inchaço máximo, assim como verificado neste estudo.

Batista (2012) constatou que o inchaço volumétrico total para modificação a 140 e a 160°C foi de 11,13 e 8,82%, respectivamente. Resultados muito similares aos apresentados na presente pesquisa. Já Calonego (2009) encontrou resultados opostos de inchaço volumétrico total, tanto para modificação a 140°C (8,4%), quanto para 160°C (14,5%).

Modes (2010) observou redução no inchaço total tangencial e radial para o eucalipto, a redução no inchaço tangencial foi superior a 25% e radial foi de 22%, variação próxima a encontrada neste trabalho.

A madeira de *Tectona grandis* apresentou um decréscimo no inchamento total radial, tangencial e volumétrico, em 7,52, 19,05 e 8,12%, a 140°C e 38,49, 28,48 e 38,28%, a 160°C, respectivamente.

Na TABELA 8 verifica-se a anisotropia de inchamento da madeira modificada termicamente em relação à madeira natural e suas interações.

TABELA 8 – MÉDIAS DA ANISOTROPIA DE INCHAMENTO.

ESPÉCIE	ANISOTROPIA DE INCHAMENTO		
	TEST	T1	T2
<i>Pinus taeda</i>	1,74 bA	1,77 aA	1,57 aA
<i>Eucalyptus grandis</i>	1,86 abA	1,65 aA	1,77 aA
<i>Tectona grandis</i>	2,09 aA	1,48 aB	1,62 aB
Teste de Bartlett - Interação	3,8791 ^{ns}		
ANOVA – Teste F - Interação	4,0274 ^{**}		
CV (%) - Interação	15,92		

Classificação com letras maiúsculas para os tratamentos (linhas) e com letras minúsculas para as espécies (colunas) pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ns: não significativo ($p > 0,05$). ** significativo ($p > 0,01$). Sendo, Test: madeira na condição normal; T1: modificação a 140°C; T2: modificação a 160°C.

Fonte: O AUTOR (2013).

Verifica-se que, estatisticamente, não existe diferença entre a anisotropia da madeira natural em relação à modificada termicamente nas espécies de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. Porém é perceptível que com a modificação térmica houve uma pequena redução na anisotropia em todas as espécies, aumentando a estabilidade dimensional e consequentemente a qualidade do material em relação ao comportamento dimensional.

A madeira da espécie *Tectona grandis* foi a que apresentou maior redução na anisotropia de inchamento da madeira natural em relação à madeira modificada 140°C, de 29,18%.

Soratto (2012) encontrou resultados inferiores ao apresentado neste estudo de anisotropia de *Eucalyptus* sp., os quais para temperatura 140°C variaram de 1,12 a 1,27.

5.5 BIODETERIORAÇÃO DA MADEIRA

Houve diferentes respostas à biodeterioração da madeira modificada termicamente das três espécies (TABELA 9). A diferença entre as espécies estudadas quanto à resposta ao ensaio de biodeterioração é explicada por Stamm (1956), Forest Products Laboratory (1999) e Boonstra *et al.* (2007), os quais salientaram que a composição química de cada espécie diferencia as respostas dos tratamentos térmicos quando relacionadas à resistência natural.

A FIGURA 18 apresenta a evolução de crescimento dos fungos, *Lentinula edodes* e *Pleurotus djamor*, nos corpos de prova.

De maneira geral, entre tratamentos, ocorreu uma queda de perda de massa da madeira a 140°C em relação à testemunha. Na sequência, houve um aumento da perda de massa no tratamento a 160°C, nos tratamentos com os fungos. A madeira de *Eucalyptus grandis* foi a mais biodeteriorada pelo fungo *Lentinula edodes* e o *Pinus taeda* pelo *Pleurotus djamor*.

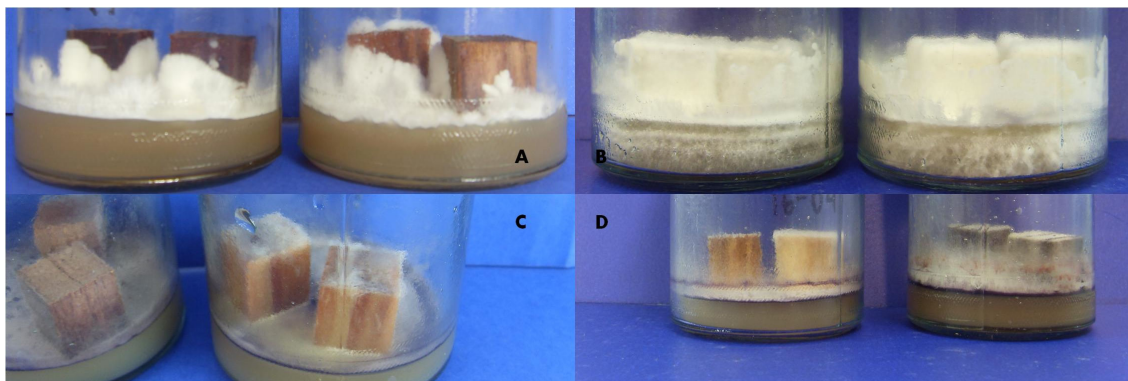


FIGURA 18 – ENSAIO DE BIODETERIORAÇÃO DA MADEIRA DE *Tectona grandis* MODIFICADA TERMICAMENTE COM O FUNGO *Lentinula edodes* AOS 30(A) E 60 DIAS (B); E DA MADEIRA DE *Pinus taeda* MODIFICADA TERMICAMENTE COM O FUNGO *Pleurotus djamor* AOS 30(C) E 60 DIAS (D). FONTE: O AUTOR (2013).

TABELA 9 – PERDAS DE MASSA (%) MÉDIA DE *Pinus taeda*, *Eucalyptus grandis* E *Tectona grandis* MODIFICADAS TERMICAMENTE E COLONIZADAS PELOS FUNGOS LENTINULA EDODES E PLEUROTUS DJAMOR.

ESPÉCIE	PERDA DE MASSA (%)							
	<i>Lentinula edodes</i>				<i>Pleurotus djamor</i>			
	TEST	T1	T2	MÉDIA	TEST	T1	T2	MÉDIA
<i>Pinus taeda</i>	2,60 bC	3,91 bB	9,20 aA	5,24 b	2,86 bB	3,16 aB	7,98 aA	4,67 a
<i>Eucalyptus grandis</i>	10,58 aA	6,93 aB	5,55 bC	7,68 a	4,67 aA	2,65 aB	5,37 bA	4,23 a
<i>Tectona grandis</i>	1,37 cB	2,31 cA	1,90 cAB	1,86 c	3,08 bA	3,61 aA	3,15 cA	3,28 b
MÉDIA	4,85 b	4,38 b	5,55 a	-	3,54 b	3,14 b	5,50 a	-
Teste de Bartlett - Interação	7,2774 ^{ns}				0,3190 ^{ns}			
ANOVA – Teste F – Interação	123,046 ^{**}				32,385 ^{**}			
CV (%)	19,08				24,96			

Classificação com letras maiúsculas para os tratamentos (linhas) e com letras minúsculas para as espécies (colunas) pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ns: não significativo ($p > 0,05$). ** significativo ($p > 0,01$). Sendo, Test: madeira na condição normal; T1: modificação a 140°C; T2: modificação a 160°C.

Fonte: O AUTOR (2013).

A madeira de *Pinus taeda* aumentou sua biodeterioração com o aumento da temperatura, para ambos os fungos. Portanto, a modificação térmica não aumentou a resistência natural da madeira desta espécie.

Modes (2010) testou a resistência a biodeterioração pelos fungos *Trametes versicolor* (podridão branca) com madeiras de *Pinus taeda* natural e modificada termicamente. Esse autor encontrou resultado oposto ao do presente trabalho para *Pinus taeda* modificada termicamente. Onde a madeira modificada quando em contato com fungo de podridão branca mostrou maior resistência ao ataque quando comparada à testemunha.

Ocorreram comportamentos distintos entre os fungos do estudo para a madeira de *Eucalyptus grandis*. A modificação térmica aumentou a resistência à biodeterioração da madeira sob a ação do fungo *Lentinula edodes*. A madeira a 140°C, também se mostrou resistente ao fungo *Pleurotus djamor*, ao

contrário da madeira modificada a 160°C, a qual teve um aumento da perda de massa em relação à testemunha.

Rocha (2011) verificou a capacidade de degradação dos fungos *Pleurotus sanguineus*, *L. bertieri*, *Xylaria* sp. e *Lentinula edodes* quanto à perda de massa e consumo dos componentes químicos da madeira de *Eucalyptus urograndis*. Aos 60 dias de experimento, houve uma perda de massa de 2,90% para o fungo *L. edodes*, valor inferior ao encontrado neste trabalho.

Batista (2012) submeteu a madeira de *Eucalyptus grandis* natural e modificada termicamente a 140, 160 e 180°C ao fungo *Gloeophyllum trabeum* e *Postia placenta*, ambos de podridão parda, conforme norma ASTM 2017 (2005), durante 12 semanas. O autor verificou que houve redução na perda de massa somente a 180°C, para os dois fungos. Nos demais tratamentos, houve um aumento na perda de massa em relação à testemunha, sendo que, a 140°C ocorreu a maior biodeterioração de 32 e 47%, com os fungos *G. trabeum* e *P. placenta*, respectivamente. Nota-se um comportamento diferente do ocorrido no presente trabalho provavelmente pelo fato do tempo do tempo de incubação de Batista (2012) ser maior (12 semanas), comparado com as oito semanas deste ensaio e por utilizar fungos diferentes. Portanto a resistência à biodeterioração de *Eucalyptus grandis* pode ser maior dependendo do tipo do fungo.

A madeira de *Tectona grandis* foi a menos biodeteriorada em comparação as demais madeiras. Verificou-se pouca variação entre tratamentos, para ambos os fungos. A madeira de teca é naturalmente muito resistente à ação de fungos xilógos, e, portanto, a modificação térmica não influenciou na resistência à biodeterioração.

Motta *et al.* (2013) ao ensaiar o apodrecimento acelerado de *Tectona grandis* natural com o fungo *Polyporus fumosus*, causador de podridão branca, por 13 semanas, classificam-na como de resistência moderada. Assim, como neste trabalho, a madeira de teca tem naturalmente uma resistência a biodeterioração alta.

5.6 INTEMPERISMO NATURAL

5.6.1 Painéis

Os painéis ficaram expostos por 184 dias suportando a ação das intempéries do local. Segundo SIMEPAR (2013) a precipitação acumulada nestes dias foi de 691,6 mm.m⁻², radiação solar acumulada de 57809,8 W.m⁻², temperatura mínima, máxima média foi de 14,95 e 24,51 °C, respectivamente, e umidade relativa média de 82,38% (ANEXO).

A radiação solar e variações da temperatura influenciaram diretamente na foto-oxidação do material. Esta influencia pode ser observada visualmente com a mudança de coloração do material, o qual não foi quantificado.

Na FIGURA 19 é possível visualizar o comportamento da umidade de equilíbrio e do volume da madeira durante os dias de avaliação separados por espécies.

Verifica-se na FIGURA 19 que, em geral, a madeira modificada termicamente manteve o teor de umidade inferior ao da madeira natural, comprovando na prática a redução da higroscopicidade. Também, observa-se que a variação volumétrica é menor nas madeiras modificadas.

A variação da temperatura e umidade relativa induziu a contração e inchamento dos painéis, esta trabalhabilidade da madeira possibilitou avaliar os defeitos produzidos por estes fatores (TABELA 10).

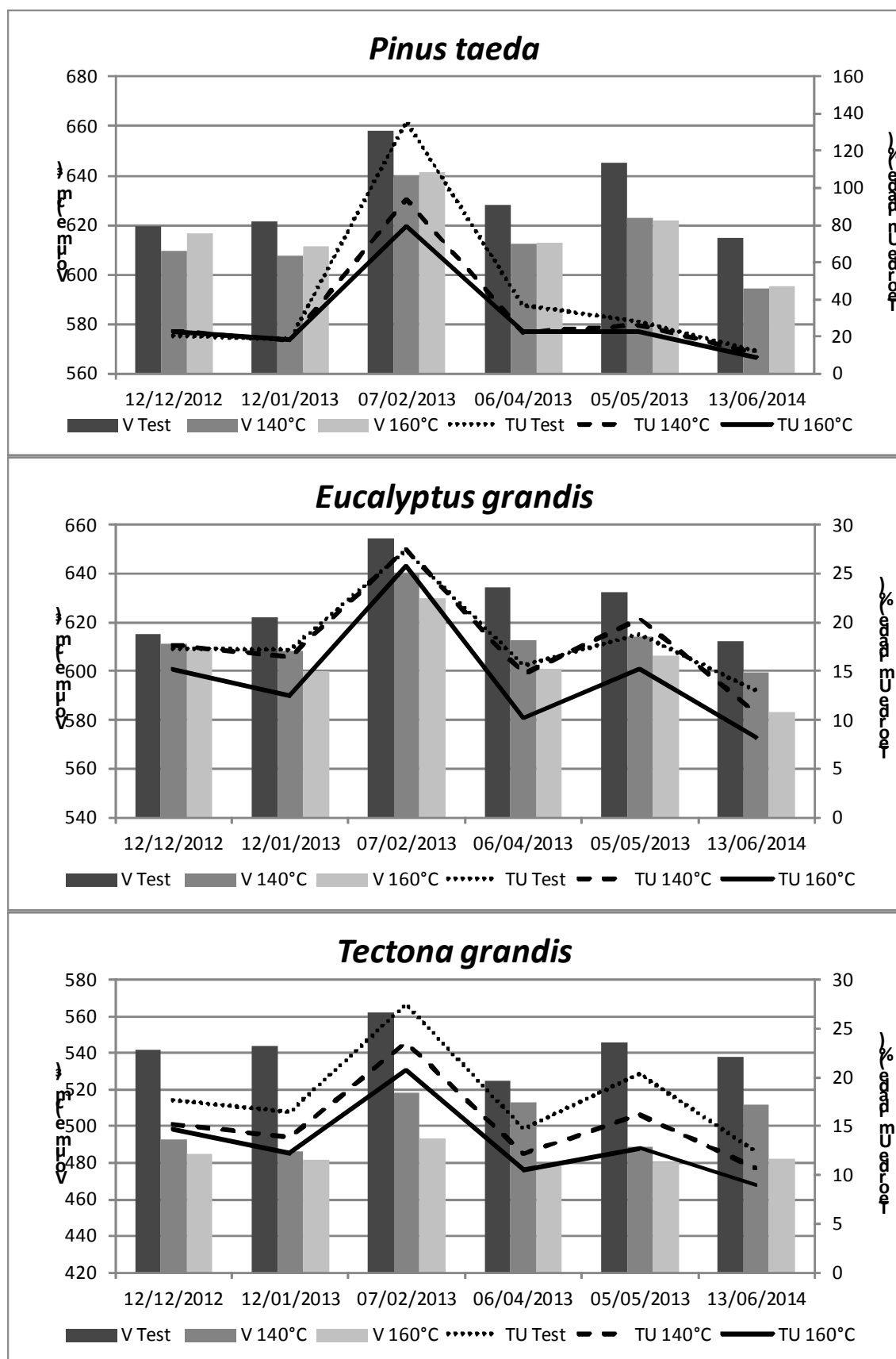


FIGURA 19 – COMPORTAMENTO DO TEOR DE UMIDADE (%) E VOLUME (cm³) DOS PAINÉIS. SENDO V: VOLUME; TEST: TESTEMUNHA E TU: TEOR DE UMIDADE. FONTE: O AUTOR (2013).

TABELA 10 – FREQUENCIA RELATIVA DE DEFEITOS NOS PAINÉIS APÓS INTEMPERISMO NATURAL

ESPÉCIE	FREQUÊNCIA DE DEFEITOS (%)									
	FUNGO			EMPENAMENTO				RACHADURA		
	TEST	T1	T2	TEST	T1	T2	MÉDIA	TEST	T1	T2
<i>Pinus taeda</i>	91,67 aA	50,00 aB	8,33 aC	75,00	100,0	100,0	92,67 a	91,67 aA	91,67 aA	83,33 abA
<i>Eucalyptus grandis</i>	16,67 bA	33,33 aA	16,67 aA	58,33	33,33	75,00	55,56 b	100,0 aA	100,0 aA	100,0 aA
<i>Tectona grandis</i>	91,67 aA	50,00 aB	25,00 aB	33,33	25,00	33,33	30,56 c	58,33 bA	16,67 bB	66,67 bA
Teste de Bartlett - Interação	10,368 ^{ns}			-18,3349 ^{ns}				-19,4725 ^{ns}		
ANOVA – Teste F – Interação	3,7745 ^{**}			1,4528 ^{ns}				3,0271 ^{**}		
CV (%)	40,29			71,29				41,87		

Classificação com letras maiúsculas para os tratamentos (linhas) e com letras minúsculas para as espécies (colunas) pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ns: não significativo ($p > 0,05$). ** significativo ($p > 0,01$). Sendo, Test: madeira na condição normal; T1: modificação a 140°C; T2: modificação a 160°C.

Fonte: O AUTOR (2013).

De modo geral, todas as espécies apresentaram defeitos em todos os tratamentos testados. Porém, algumas apresentaram mais defeitos ou de rachadura, ou de empenamento, ou de presença de fungo que outra. Verifica-se que apenas para o empenamento existe uma igualdade estatística na interação entre espécies e tratamentos, apesar de ser visível que a frequência dos defeitos entre as espécies são diferentes (ANEXO).

A madeira de *Pinus taeda* reduziu a presença de fungos em 90,9%, aumentou o defeito de empenamento em 25,0% e reduziu o aparecimento de rachaduras em 9,1% com o aumento de temperatura de modificação.

Comportamento diferente foi encontrado na madeira de *Eucalyptus grandis*. Não ocorreu diferença estatística para a presença de fungos nem para o defeito de rachadura, sendo que este teve presença em todas as peças e tratamentos e aquele apresentou a menor frequência de presença de fungos

tanto para testemunha quanto para a madeira modificada. Agora, o defeito de empenamento, foi menos frequente do que a espécie de pinus e mais do que a teca, apresentando uma redução de 42,9% a 140°C e um aumento de 28,6% a 160°C.

Já para madeira de teca, a presença de fungos diminuiu com a modificação térmica em 45,5 e 72,7% a 140 e 160°C, respectivamente. Não houve diferença entre tratamentos para o defeito de empenamento. Verificou-se redução nas rachaduras de 71,4% apenas a 140°C.

A menor frequência de rachaduras e empenamentos foi apresentada pela *Tectona grandis*. Isto comprova que a espécie apresenta em ambientes externos boa estabilidade dimensional, e que esta estabilidade foi melhorada com a modificação térmica.

É perceptível que a modificação térmica melhorou a qualidade do material para todas as espécies em pelo menos um dos defeitos analisados. A madeira de teca a 140°C foi a que apresentou menor frequência de defeitos, sendo a mais indicada para utilizar como painel, seguida de teca a 160°C e eucalipto a 140°C.

Na TABELA 11 está relacionado o nível de degradação superficial do material exposto através da análise química de solubilidade em NaOH a 1%. Notou-se diferenças significativas na solubilidade nos diferentes tempos, assim como diferenças entre os tratamentos de cada espécie.

Observa-se que o processo com temperatura final de 160°C para *Pinus taeda* e *Tectona grandis* apresentaram menor nível de degradação quando expostas ao intemperismo natural em relação às testemunhas. Para *Eucalyptus grandis* o nível de degradação dos tratamentos aumentou em relação a testemunha, o que não era esperado. Por que em COST ACTION E22 (2001) existe faz-se apotamento sobre a melhoria na resistência ao intemperismo.

Nestes painéis ocorreram mudanças de coloração na madeira a qual não foi qualificada, porém já era previsto por Silva *et al.*(2005) e Paes *et al.* (2003) a mudança de cor da madeira devido a exposição às intempéries.

TABELA 11 – NÍVEL DE DEGRADAÇÃO SUPERFICIAL DA MADEIRA EXPOSTA AO INTEMPERISMO NATURAL

ESPÉCIE	TRAT.	SOLUBILIDADE EM NaOH 1% (%)		DIFERENÇA (%)	TESTE DE BARTLETT T	ANOVA TESTE F
		0 dias	180 dias			
<i>Pinus taeda</i>	Test	11,881 a	26,509 b	14,63	1,932 ^{ns}	4113,74**
	T1	24,799 a	28,502 b	3,70	2,050 ^{ns}	208,64**
	T2	23,785 a	21,731 b	-2,05	1,474 ^{ns}	121,12**
<i>Eucalyptus grandis</i>	Test	10,319 a	16,996 b	6,68	2,404 ^{ns}	984,10**
	T1	18,505 a	29,369 b	10,86	1,386 ^{ns}	2566,74**
	T2	35,559 a	48,167 b	12,61	1,547 ^{ns}	3294,9**
<i>Tectona grandis</i>	Test	14,979 a	27,489 b	12,51	2,318 ^{ns}	2896,23**
	T1	16,886 a	34,047 b	17,16	3,452 ^{ns}	5056,73**
	T2	30,148 a	38,721 b	8,57	2,983 ^{ns}	1499,55**

Classificação com letras minúsculas para os tratamentos (linhas) pelo teste Tukey ao nível de ($p > 0,05$). ns: não significativo a 5%. ** significativo ao nível de 1%.

Fonte: O autor (2013).

Ao retirar uma camada de dois milímetros de madeira degradada pelo intemperismo, observou-se que na madeira de pinus havia uma camada mais profunda de madeira atingida pela foto-degradação em relação as demais.

Segundo Lepage (1986) os principais fatores que promovem a degradação na madeira, quando submetidas ao intemperismo, são a umidade relativa do ar, a radiação solar e a variação na temperatura. A madeira é um ótimo sorvedor de luz solar. A degradação foto-oxidativa primária se fixa apenas em sua superfície. A umidade gera movimentações de contração e inchamento da parede celular da madeira.

O mesmo autor, ainda, com base nos fatores do parágrafo acima ressalta as seguintes alterações nas propriedades da madeira. As mudanças químicas são percebidas pelo aumento do teor de celulose e da solubilidade devidas à presença de gases e água da chuva. As mudanças físicas ocorrem na superfície da madeira com a formação de fendas intracelulares e a resistência das ligações da parede celular é perdida. Estes fendilamentos, classificados como rachaduras, como foi observado neste estudo (TABELA 10).

E, as mudanças microscópicas são o alargamento das pontuações areoladas e formação de microfissuras na parede celular dos traqueídeos. A análise anatômica não foi realizada.

Considerando a frequência de defeitos e o nível de degradação, apesar do eucalipto apresentar um aumento da degradação com o aumento da temperatura, juntamente com *Tectona grandis* a 160°C são os painéis com melhor qualidade quando comparados aos demais tratamentos.

Nascimento (2003) estudou a exposição ao intemperismo natural de chapas de partículas das espécies *Anadenanthera macrocarpa* (angico), *Prosopis juliflora* (algaroba) e *Mimosa tenuiflora* (jurema preta), natural e com aplicação dos seguintes produtos, Pentox, CCA, Epóxi e Esmalte sintético. Concluiu que os efeitos da radiação solar, precipitação, temperatura e ventos, provocaram consequências significativas nas chapas, mesmo com a aplicação de produtos protetores. Os produtos CCA e Pentox não impediram a ação de agentes xilófagos. Observou-se na maioria dos corpos de prova a grande incidência de empenamentos e rachaduras, assim como no presente trabalho.

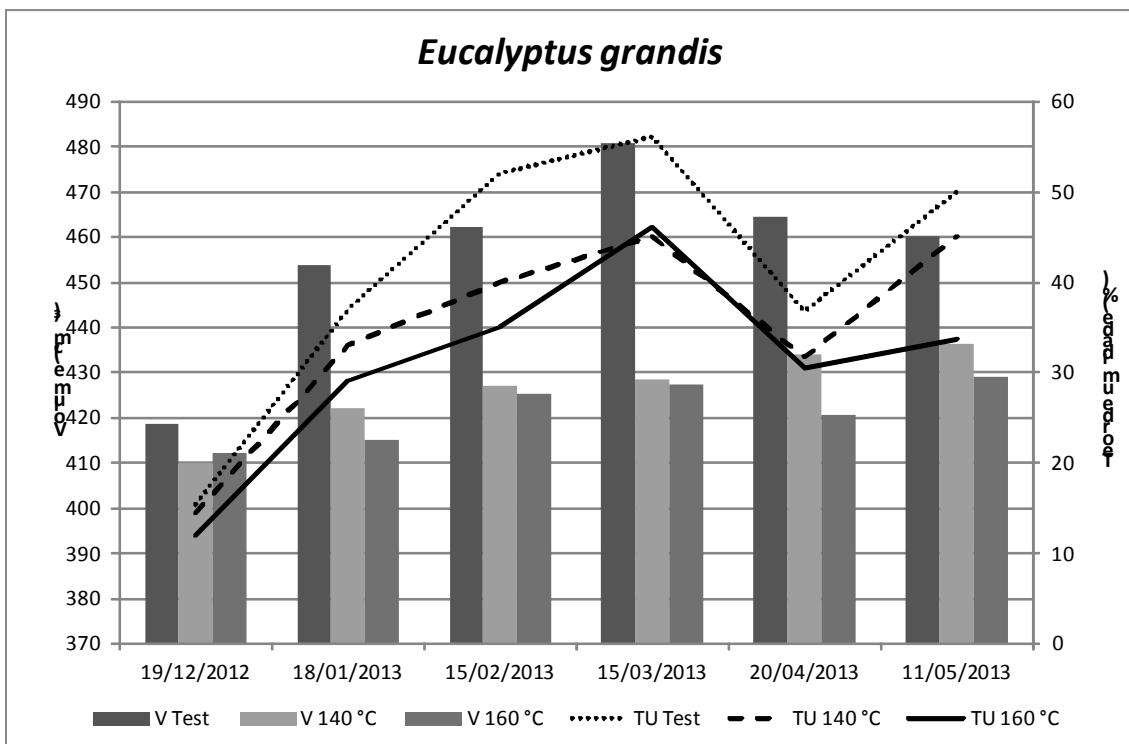
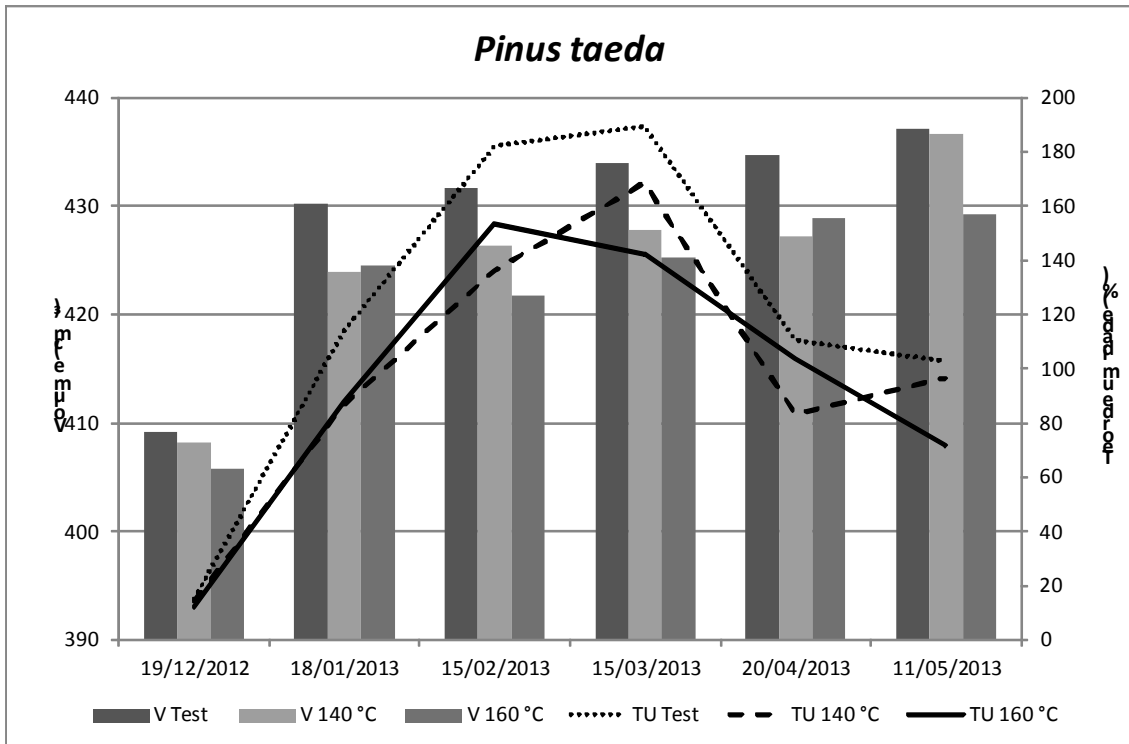
5.6.2 Mini decks

Os mini *decks* ficaram expostos por 164 dias suportando a ação das intempéries do local. Segundo SIMEPAR (2013) a precipitação acumulada nestes dias foi de 626,4 mm.m⁻² a radiação solar acumulada de 51686,16 W.m⁻², a temperatura variou de 4,4 a 32,9 °C e umidade relativa de 51,02 a 98,05% durante o período de avaliação.

A radiação solar, variações da temperatura, umidade relativa, precipitação e umidade do solo (não quantificada) influenciaram diretamente na variação dimensional e massa das peças dos mini *decks* (FIGURA 20 e 21).

Verifica-se nas FIGURAS 20 e 21 que, em geral, a madeira modificada termicamente manteve o teor de umidade inferior ao da madeira natural, comprovando na prática a redução da higroscopicidade, assim como nos painéis, tanto para as peças superiores quanto para as peças inferiores.

Também, observa-se que a variação volumétrica é menor nas madeiras modificadas.



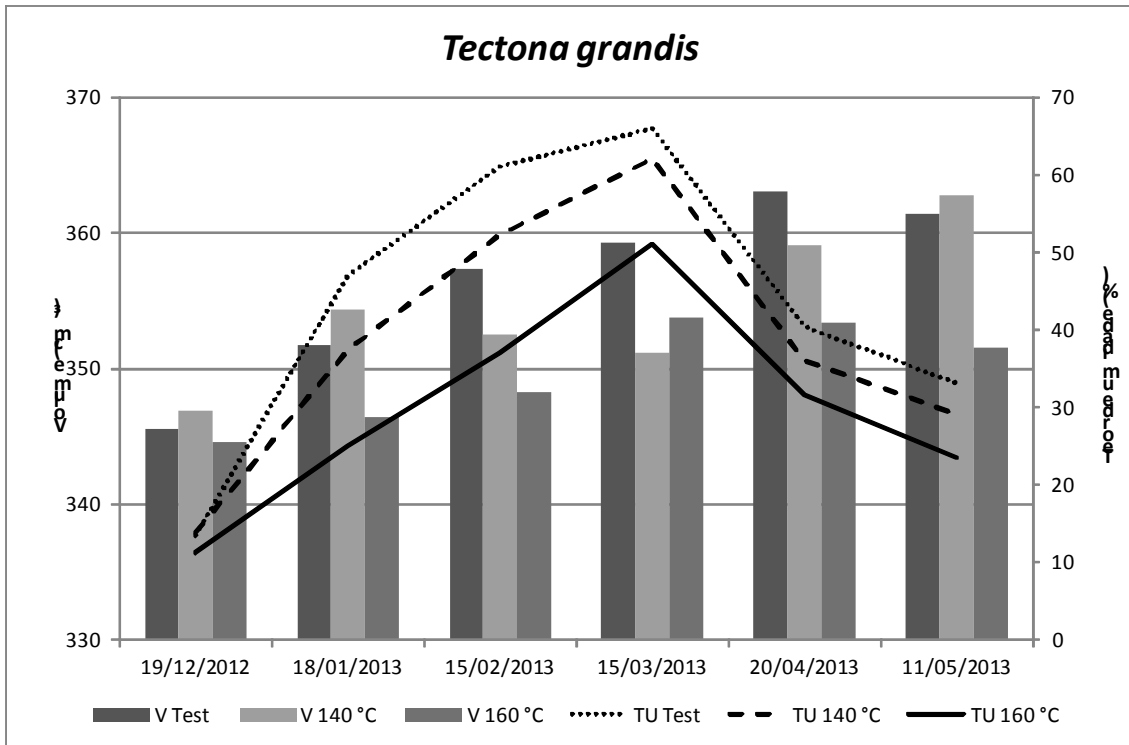
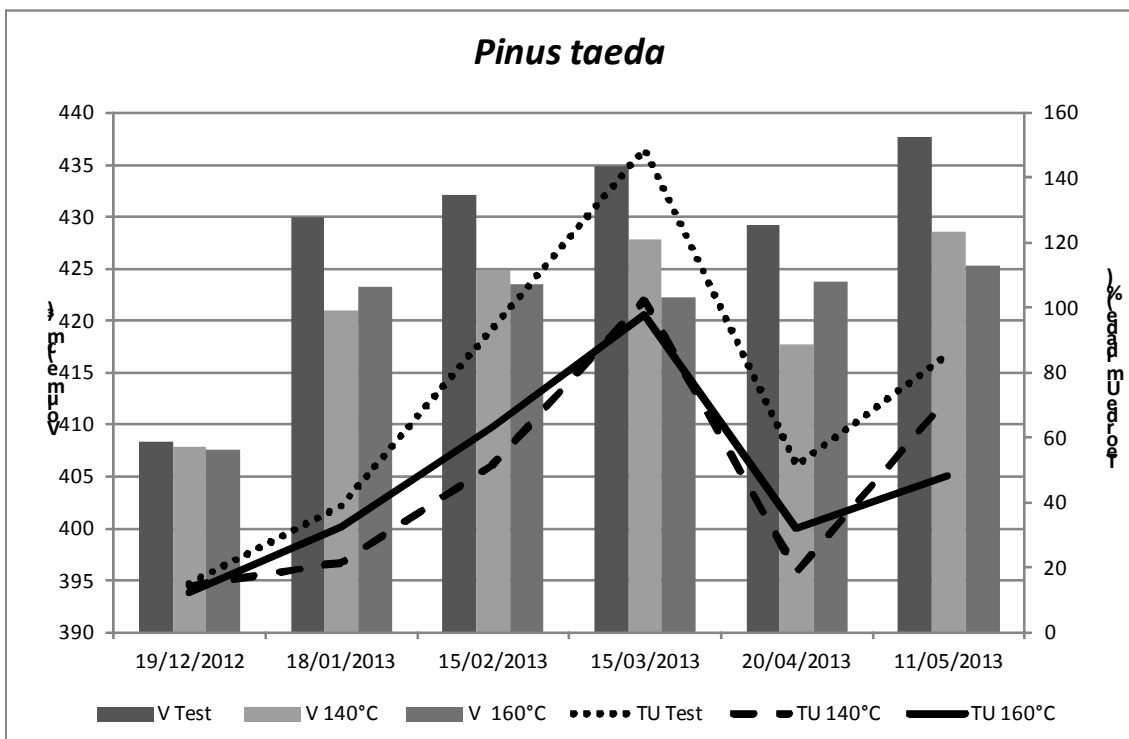


FIGURA 20 - COMPORTAMENTO DO TEOR DE UMIDADE (%) E VOLUME (cm³) DAS PEÇAS DA BASE DOS MINI DECKS. SENDO V: VOLUME; TEST: TESTEMUNHA E TU: TEOR DE UMIDADE.
 FONTE: O AUTOR (2013).



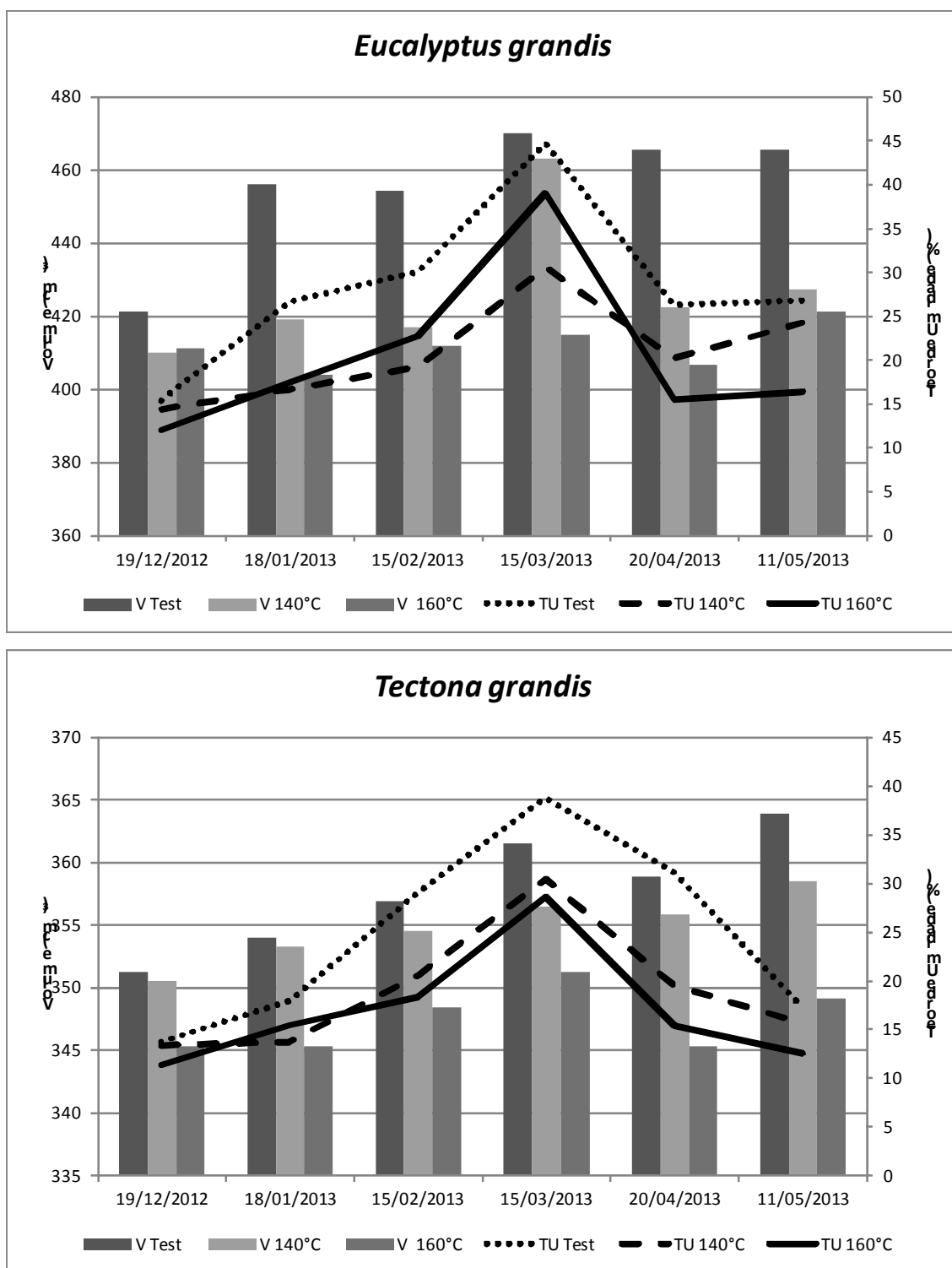


FIGURA 21 - COMPORTAMENTO DO TEOR DE UMIDADE (%) E VOLUME (cm³) DAS PEÇAS SUPERIORES DOS MINI DECKS. SENDO V: VOLUME; TEST: TESTEMUNHA E TU: TEOR DE UMIDADE.

FONTE: O AUTOR (2013).

Os picos de umidade de equilíbrio da madeira estão diretamente relacionados com os picos de precipitação apresentados no ANEXO. Contudo, verifica-se a redução da higroscopicidade do material modificado termicamente.

Assim como para os painéis todas as espécies e tratamentos apresentaram defeitos como presença de fungos, empenamentos, rachaduras e quebras. Na TABELA 12 estão descritos as frequências relativas de defeitos destes defeitos.

TABELA 12 - FREQUENCIA RELATIVA DE DEFEITOS NOS MINI DECKS APÓS INTEMPERISMO NATURAL
FONTE: O autor (2013).

ESPÉCIE	FREQUÊNCIA DE DEFEITOS (%)											
	FUNGO			EMPENAMENTO			RACHADURA			QUEBRA		
	TES T	T1	T2	TES T	T1	T2	TES T	T1	T2	TES T	T1	T2
<i>Pinus taeda</i>	100 aA	62,5 aB	0,0 aC	62,5 aA	62,5 abA	50,0 aA	62,5	50,0	62,5	0,0 aA	0,0 aA	0,0 bA
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,0 bA	0,0 bA	0,0 aA	75,0 aA	100,0 aA	75,0 aA	62,5	62,5	75,0	0,0 aB	0,0 aB	37,5 aA
<i>Tectona grandis</i>	0,0 bB	37,5 aA	0,0 aB	0,0 bB	37,5 bAB	75,0 aA	0,0	50,0	12,5	0,0 aA	0,0 aA	0,0 bA
Teste de Bartlett - Interação	-19,4442 ^{ns}			-10,7364 ^{ns}			-4,7514 ^{ns}			-		
ANOVA – Teste F – Interação	12,8333 ^{**}			2,5619 [*]			1,1982 ^{ns}			4,200 ^{**}		
CV (%)	109,79			73,46			96,54			414,04		

Classificação com letras maiúsculas para os tratamentos (linhas) e com letras minúsculas para as espécies (colunas) pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ns: não significativo ($p > 0,05$). ** significativo ($p > 0,01$). Sendo, Test: madeira na condição normal; T1: modificação a 140°C; T2: modificação a 160°C.

Fonte: O AUTOR (2013).

A modificação térmica reduziu a aparição de fungos na madeira de *Pinus taeda* em até 100% na modificação a 160°C. Para este mesmo tratamento houve uma pequena redução de 12,5 pontos percentuais na frequência do empenamento e não houve diferença para rachadura. Esta madeira não apresentou quebras de peças durante o tempo de ensaio.

A madeira de *Eucalyptus grandis* não alterou seu comportamento diante de modificação térmica para os defeitos de fungos, empenamento e rachadura, apenas tornou-se mais friável, o que possibilitou quebra de algumas peças do estudo.

Este comportamento quebradiço é explicado por Vernois (2000), o qual observou decréscimos nos módulos de ruptura (MOR) de até 40%, tornando o material mais frágil e quebradiço. Em espécies de maior densidade, essa redução é mais acentuada, devido à tendência do tratamento térmico induzir a formação de rachaduras nas peças. Poncsák *et al.* (2006), também, afirma que a exposição prolongada a altas temperaturas provoca a diminuição sua resistência, tornando a madeira quebradiça.

Para a madeira de *Tectona grandis* a modificação térmica influenciou negativamente, aumentando a frequência de defeitos nos mini *decks*.

É possível verificar que a modificação térmica conferiu ao pinus melhorias quanto à qualidade, não alterou o comportamento do eucalipto e piorou a qualidade da madeira de teca. Isto quando submetidos às condições externas.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Verificada todas as condições de ensaio e resultados obtidos conclui-se que:

Quanto às propriedades químicas e físicas das três espécies:

- A modificação térmica conferiu alterações químicas e físicas às espécies estudadas.
- Houve redução no teor de holocelulose e no pH das espécies com o aumento da temperatura da modificação térmica.
- Aumentou o teor de lignina, extrativos totais e a solubilidade em NaOH a 1%;
- A higroscopicidade e inchamento reduziram com o aumento da temperatura da modificação térmica;
- Reduziu a anisotropia de inchamento apenas para a espécie *Tectona grandis*.

Quanto à ação de fungos apodrecedores, a modificação térmica:

- Reduziu a resistência da espécie *Pinus taeda* para ambos os fungos;
- Aumentou a resistência da madeira de *Eucalyptus grandis* sob a ação do fungo *Lentinula edodes* e reduziu sob ação do fungo *Pleurotus djamor*;
- Não alterou o comportamento da madeira de *Tectona grandis*.

Quanto à exposição a intempéries:

- Reduziu a higroscopicidade e o inchamento volumétrico para painéis e mini *decks*;
- A modificação térmica melhorou a qualidade da madeira submetida às intempéries;
- Para a madeira de *Pinus taeda* é indicada a temperatura de 160°C;
- Para a madeira de *Eucalyptus grandis* é indicada a temperatura 140°C;

- Na madeira de *Tectona grandis* não houve melhoria nas propriedades;

Observação geral:

- Recomenda-se o uso de madeira modificada em ambientes internos e com finalidade decorativa para todas as espécies.
- A modificação térmica em *Tectona grandis* não alterou significativamente as propriedades da madeira.

Isto concluído, recomenda-se:

- Realizar ensaios de linha de cola para a madeira modificada termicamente.
- Realizar ensaios de biodeterioração com a mesma metodologia descrita, com fungos de podridão parda para as espécies de *Pinus taeda* e *Tectona grandis*.
- Realizar a análise anatômica da madeira modificada termicamente submetida ao ataque dos fungos.
- Investigar o efeito de diferentes tipos de acabamentos superficiais na cor, qualidade e deterioração da madeira modificada termicamente submetida ao intemperismo natural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF, **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 10/10/2013.

ABREU, L. D. *et al.* Degradação da madeira de *Eucalyptus* sp. por basidiomicetos de podridão branca. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.74, n.4, p.321-328, out./dez., 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM D 1413: Standard Test Method for Wood Preservatives by Laboratory Soil-Block Cultures. West Conshohocken, 1994.

ANDRADE, E. G. **Influência da termorreificação de amostras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden nas propriedades físicas, dureza Janka e flexão estática**. 2011.39p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

ANDRADE, M. C. N. *et al.* de. Avaliação do crescimento micelial de linhagens de shiitake, da produção em toras de eucalipto e de alterações físicas da madeira. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 23-27, 2007.

ARGANBRIGHT, D.G. Influence of extractives on bending strength of redwood (*Sequoia sempresviens*). **Wood and fiber Science**, Pennsylvania, v.2, n.4, p 367-372,1997.

AZEVEDO, A. C. S.; QUIRINO, W. F. Aumento da estabilidade na madeira de eucalipto através de tratamento térmico. **Revista da Madeira**, Curitiba, ano 16, n. 98, p. 50-58, ago. 2006.

BANO, Z.; RAJARATHNAM, S. *Pleurotus mushrooms*. II. Chemical composition, nutritional value, post-harvest physiology, preservation and role as human food. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 27, n. 2. p. 87-158. 1988.

BATISTA, D. C.*et al.* Efeito do tempo e da temperatura de modificação térmica na redução do inchamento máximo da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 3, julho-setembro, 2011, pp. 533-540.

BATISTA, D. C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro VAP SystemeHolzSysteme®**. 339 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BONATTI, M. *et al.* Evaluation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju* nutritional characteristics when cultivated in different lignocellulosic wastes. **Food Chemistry**, v.88, p. 425-428, 2002.

BOONSTRA, M. J. *et al.* Optimisation of a two-stage heat treatment process: durability aspects. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 41, p. 41-57, 2007.

BORGES, L. M.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. **Revista Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, Abr-Jun de 2004, p. 173-182.

BOURGOIS, J. *et al.* Thermal treatment of wood: analysis of the obtained product. **Wood Science and Technology**, Berlin e New York, v.23, n. 4, 303–310, 1989.

BRITO, J. O. Estudo preliminar de retificação térmica da madeira de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1993. p.774.

BRITO, J. O. *et al.* Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorretificação. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 182-188, 2006.

CABRERA, G.M. *et al.* Cryptoporic and isocryptoric acids from de fungal cultures of *Polyporus arcularius* and *PINUS ciliatus*. **Phytochemistry**, v. 61, p. 189-193. 2002

CALONEGO, F. W. **Efeito da termorretificação nas propriedades físicas, mecânicas e na resistência a fungos deterioradores da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden.** 149 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2009.

CLAUSEN, C. A. Biodeterioration of Wood. In: **Wood handbook.** General Technical Report FPL-GTR-190. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2010.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (COPANT). COPANT 462: Método de determinación de la contracción. Buenos Aires, 1972.

COST ACTION E22: Environmental optimisation of wood protection, 2001, Antibes. **Review on heat treatments of Wood.** Hamburg: The Federal Research Centre for Forestry and Forest Products Information and Documentation, 2001.

EIRA, A.F., MINHONI, M.T.A. **Manual prático de biotecnologia e microbiologia agrícola.** 3- Microbiologia do solo (a população microbiana do solo). Botucatu: FEPAF, 1991, 45p.

ESTEVES, B. *et al.* Extractive composition and summative analysis of thermally treated eucalypt wood. **Holzforschung**, Berlin, v. 62, n.3, p. 344-351, 2008.

ESTEVEES, B., PEREIRA, H. Wood modification by heat treatment: a review. **Bioresource Technology**, Lisboa, v. 4, n. 1, p.370-404. 2009.

ESTEVEES, B. *et al.* Chemistry and ecotoxicity of heat-treated pine wood extractives. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 45, n. 4, p. 661 – 676, 2011.

EUROPEAN STANDARD (EN). EN 927-3: Paints and varnishes - Coating materials and coating systems for exterior wood - Part 3: Natural weathering test. Julho, 2000.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions**. New York: Walter De Gruyter, 1989.

FERNANDES, P. S. de. *et al.* Estudo comparativo da durabilidade de *Pinus* spp tratados com preservativos da madeira. In: Congresso Florestal Brasileiro, 6., Campos do Jordão, 1990. **Anais**. São Paulo: SBS, SBEF, 1990. v.1, p.689-695.

FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION. **ThermoWood® handbook**. Helsinki, 2003.

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

GIMENES, L. J. **Fungos Basidiomicetos**: Técnicas de coleta, isolamento e subsídios para processos biotecnológicos. Instituto de Botânica de São Paulo, 2010.

GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. Moisture relations and physical properties of wood. In: **Wood handbook**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2010.

GRIEBELER, C. G. de O. **Colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden modificada termicamente**. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

HILL, C., 2006. **Wood Modification - Chemical, Thermal and Other Processes**. Wiley Series in Renewable Resources, John Wiley & Sons, Ltd.

HOMAN, W. *et al.* Structural and other properties of modified wood. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER 96 ENGINEERING, 5., 2000, Switzerland. **Anais eletrônicos...** Switzerland: CIB-W18 Meeting 33, 2000. Disponível em: <<http://oregonstate.edu/conferences/wcte2006/>>. Acesso em: 10/11/2012.

IBACH, R. E. Specialty treatments. In: **Wood handbook**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO (IPT). Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/13.htm>. Acesso em: 12/setembro/2013.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005.

KIM, D. Y. *et al.* Thermal decomposition of cellulose crystallites in wood. **Holzforschung**, Berlin, v. 55, n. 5, p.521-524. 2001.

KIRK, T. K.; CULLEN, D. Enzimology and molecular genetics of wood degradation by white-rot fungi. In: John Wiley & Sons. **Environmentally Friendly Technologies for the Pulp and Paper Industry**. New York, p.273-308. 1998.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JUNIOR, W.A. **Principles of wood science and technology: Solid wood**. New York: Springer, v. I , 1968. 592 p.

LENGOWSKI, E. C. **Efeito da termorretificação nas propriedades anatômicas, físico-mecânicas e químicas das madeiras de *Pinus taeda*, *Eucalyptus grandis* e *Tectona grandis***. 2011. 103 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LEPAGE, E. S. **Manual de preservação de madeiras**. Instituto de Pesquisa Tecnológico de São Paulo. Divisão de Madeiras. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo. v.1, p. 193 – 207. 1986.

LOFERSKI, J. R. Technologies for wood preservation in historic preservation. **Archives and museum informatics**, Dordrecht, v. 13, n. 3-4, p. 273-290, 2001.

LOGSDON, N. B.; PENNA, J. E. Análise comparativa entre os coeficientes de anisotropia dimensional da madeira, no inchamento e na retração. **Agricultura Tropical**. Cuiabá, (2004). Ed. UFMT. v. 8, n. 1, n.p.

MENZ HOLZ. **Catálogo**. Disponível em: < <http://www.menzholz.de/#/0> >. Acesso em: 27/11/2012.

MINHONI, M. T. A. *et al.* **Cultivo de *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler – (Shiitake)**. Botucatu: Fepaf, 2007.

MIRANDA, A. P. **Efeito do termotratamento em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Tectona grandis* L. f. sob variação de temperaturas**. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Faculdade de Jaguariaíva, Jaguariaíva, 2010.

MODES. K. S. **Efeito da retificação térmica nas propriedades físico-mecânicas e biológicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus***

grandis. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MOORE-LANDECKER, E. **Fundamentals of the fungi**. Prentice-Hall, New Jersey, 1982. 578 p.

MOTTA, J. P. *et al.* Resistência natural da madeira de *Tectona grandis* em ensaio de laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.8, p.1393-1398, ago, 2013

NASCIMENTO, M. F. **CHP – Chapas de partículas homogêneas: madeiras do nordeste do Brasil**. São Carlos. 145p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

NOCK, H. P. *et al.* **Tecnologia da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 1975. 216 p.

OLIVEIRA, A. M. F. *et al.* Agentes destruidores da madeira. In: **Manual de Preservação de Madeiras** – vol. 1 – Capítulo V – IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) – Divisão de Madeiras – São Paulo, 1986.

OLIVEIRA, J. T. S. Propriedades físicas e mecânicas da madeira. In: OLIVEIRA, J.T.S.; FIELDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro II**. Vitória: Aquárium, 2007. cap. 5, p.129-163.

PAES, J. B. *et al.* Resistência natural de sete madeiras a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 160-169, abr./jun., 2003

PERALTA, R.M. Aproveitamento de resíduos de frutas para a produção de enzimas lignocelulolíticas por basidiomicetos. In: SICOG - SIMPOSIO INTERNACIONAL DE COGUMELOS, 4, 2008, Caxias do Sul. P. 99 - 302.

PERDURE. Disponível em: <http://www.perdure.com/PerdurePortal/DesktopDefault.aspx?tabindex=1&tabid=26> . Acesso em: 27/11/2012.

PINCELLI, A. L. P. S. M. **Efeito da termorretificação no envernizamento, colagem e cor da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

PLATOWOOD. Disponível em: <http://www.platowood.nl/69/The-Plato-Technology.html> . Acesso em: 27/11/2012

PLATT, U. *et al.* The diurnal variation of NO₃. **Journal of Geophysical Research** v.86, p.11965–11970, 1981.

PONCSÁK, S. *et al.* Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). **Wood Science and Technology**, v. 1, n. 40, p. 647–663, 2006.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T. Retificação térmica de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, Curitiba, Edição Especial, p. 60-66, 2002.

RAYNER, A.D.M.; BODDY, L. **Fungal decomposition of wood**. Chippenham: Jonh Wiley and Sons, 1988. 587p.

RETIWOOD. Disponível em: < <http://www.retiwood.com/en/processes.html>>. Acesso em: 28/11/2012.

REZENDE, M. A. Retratibilidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis* e suas relações com a umidade e densidade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.64, p.120-127, 2003.

REZENDE, M. A. de. *et al.* Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**, Piracicaba, n.48/49, p.133-141, jun./dez. 1995.

ROCHA, C. D. **Efeito da vaporização na madeira de *Eucalyptus grandis* sobre as propriedades químicas e na resistência natural a fungos e cupins**. 121f. Dissertação (Mestrado) da Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011.

ROWELL, R. M. *et al.* **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Ed. R.M. Rowell. Florida: CRC Press, 2005. p. 487.

SIAU, J. F. **Wood**: influence of moisture on physical properties. Virginia: Department of Wood Science and Forest Products, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1995.

SILVA, J. C. Eucalipto: pesquisa amplia usos: perspectivas do setor florestal brasileiro. **Revista da Madeira**, v.13,n. 75, p.4-6, 2003.

SILVA, J. C. *et al.* Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 455-460, 2005.

SILVA, M. R. da *et al.* Efeito do tratamento térmico nas propriedades mecânicas de *Pinus elliottii*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL - EBRAMEM, 2008.

SILVA, M. R. DA. **Efeito do tratamento térmico nas propriedades químicas, físicas e mecânicas em elementos estruturais de *Eucalyptus citriodora* e *Pinus taeda***. 223 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SJÖSTRÖM, E. **Wood Chemistry: Fundamentals and Applications**. Califórnia: Academic Press, 1993. 2ed.

SJÖSTRÖM, E.; WESTERMARK, U. Chemical composition of wood and pulps: basic constituent and their distribution. In: SJÖSTRÖM, E.; ALÉN, R. (Ed.). **Analytical methods in wood chemistry, pulping and papermaking**. Heidelberg: Springer, 1998. p. 1-19.

SORATTO, D. N. **Efeito das variáveis do tratamento térmico nas propriedades da madeira de *Eucalyptus* sp.** 63 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

SUNDQVIST, B. **Colour changes and acid formation in wood during heating**. 154 f. Tese (Doutorado) – Division of Wood Material Science, Luleå University of Technology, Skellefteå, 2004.

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science**. New York: Ronald Press, 1964. 549p.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). T204 cm: Solvent extractives of wood and pulp. Norcross, 1997.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). T211 om: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. Norcross, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). T212 om: One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp. Norcross, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). T222 om: Acid insoluble lignin in wood and paper. Norcross, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). T264 cm: Preparation of wood for chemical analysis. Norcross, 1997.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). T252 om: pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard. Norcross, 2002.

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

VALLEJO, A. F. P. **Durabilidade da chapa de fibras de madeira: viabilidade de utilização como elemento de vedação na construção civil.** 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 1990.

VERNOIS, M. **Heat treatment of wood in France – state of the art.** Paris: Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, 2000. 6 p. Disponível em: <http://www.bfafh.de/inst4/43/pdf/heat_fra.pdf>. Acesso em: 10/05/2013.

VITAL, B. R., DELLA LUCIA, R. M. Efeito do aquecimento na estabilidade dimensional e na higroscopicidade da madeira. **Árvore**, Viçosa, v. 6, n. 2, p. 150-161, 1982.

VITAL, B. R., *et al.* Efeito do aquecimento em algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Árvore**, Viçosa, v. 7, n. 2, p. 136-146, 1983.

WILLIAMS, R. S. Weathering of wood. In: ROWELL, R. M. (Ed.). **Handbook of wood chemistry and wood composites.** Florida: CRC Press, 2005. p. 139-185.

XIE, Y. *et al.* Heat treated wood and its development. **Journal of Forestry Research**, Berlin, v. 13, n. 3, p. 224-230. 2002.

ZADRAZIL, F., KURTZMAN, J.R.H. The biology of *Pleurotus* cultivation in the tropics. In: CHANG, S.T., QUIMIO, T.H. **Tropical Mushrooms.** Hong Kong, The Chinese Univ. Press., 1984. 493p, p. 277-278.

APÊNDICE

APÊNDICE 1 – RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA FATORIAL (ANOVA)

LIGNINA					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	92,48	2	46,24	98,8**	0,000000
TRATAMENTO	149,10	2	74,55	159,2**	0,000000
ESPÉCIE*TRATAMENTO	81,32	4	20,33	43,4**	0,000000
TRATAMENTOS	322,89	8	40,36	89,2094**	
RESÍDUOS	21,068	45	0,468		
EXTRATIVOS TOTAIS					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	171,291	2	85,645	1094,74**	0,00
TRATAMENTO	1882,923	2	941,461	12034,04**	0,00
ESPÉCIE*TRATAMENTO	390,436	4	97,609	1247,67**	0,00
TRATAMENTOS	2444,65	8	305,58	3906,03**	
RESÍDUOS	3,52	45	0,078		
HOLOCELULOSE					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	522,3	2	261,1	529,3**	0,00
TRATAMENTO	3029,2	2	1514,6	3069,9**	0,00
ESPÉCIE*TRATAMENTO	458,5	4	114,6	232,3**	0,00
TRATAMENTOS	4010,03	8	501,24	1015,97**	
RESÍDUOS	22,20	45	0,493		
SOLUBILIDADE EM NaOH 1%					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	15,58	2	7,791	183,13**	0,00
TRATAMENTO	2749,9	2	1374,9	32319,8**	0,00
ESPÉCIE*TRATAMENTO	678,4	4	169,6	3986,9**	0,00
TRATAMENTOS	3443,93	8	430,49	10119,2**	
RESÍDUOS	1,91	45	0,0425		
pH 2 HORAS					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	8,909	2	4,455	364,11**	0,000000
TRATAMENTO	5,517	2	2,759	225,49**	0,000000
ESPÉCIE*TRATAMENTO	0,940	4	0,235	19,21**	0,000000
TRATAMENTOS	15,20	8	1,90	870,83**	
RESÍDUOS	0,098	45	0,002		
pH 24 HORAS					
	SS	GL	QM	F	P
ESPÉCIE	11,225	2	5,613	3987,9**	0,000000
TRATAMENTO	5,528	2	2,764	1963,7**	0,000000
ESPÉCIE*TRATAMENTO	0,254	4	0,064	45,2**	0,000000
TRATAMENTOS	17,00	8	2,126	1510,51**	
RESÍDUOS	0,063	45	0,0014		
UMIDADE INICIAL					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	212,15	2	106,07	229,06**	0,00
TRATAMENTO	108,54	2	54,27	117,19**	0,00
ESPÉCIE*TRATAMENTO	51,50	4	18,88	27,8051**	0,00
TRATAMENTOS	372,19	8	46,52	100,46**	
RESÍDUOS	37,51	81	0,463		

Continuação

APÊNDICE 1 – RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA FATORIAL (ANOVA) - CONTINUAÇÃO

UMIDADE DE EQUILÍBRIO DE 12%					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	363,07	2	181,54	621,01**	0,00
TRATAMENTO	352,26	2	176,13	602,51**	0,00
ESPÉCIE*TRATAMENTO	15,69	4	3,92	13,42**	0,00
TRATAMENTOS	731,03	8	91,38	312,59**	
RESÍDUOS	23,68	81	0,29		
UMIDADE DE EQUILÍBRIO DE 17,1%					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	373,65	2	186,83	296,43**	0,00
TRATAMENTO	433,58	2	216,79	343,98**	0,00
ESPÉCIE*TRATAMENTO	25,23	4	6,31	10,01**	0,00
TRATAMENTOS	832,47	8	104,06	165,11**	
RESÍDUOS	51,05	81	0,63		
MASSA ESPECÍFICA APARENTE ANIDRA					
	SS	GL	QM	F	P
ESPÉCIE	0,116	2	0,058	46,16**	0,000000
TRATAMENTO	0,026	2	0,013	10,44**	0,000000
ESPÉCIE*TRATAMENTO	0,130	4	0,032	25,86**	0,000000
TRATAMENTOS	0,273	8	0,034	27,08**	
RESÍDUOS	0,102	81	0,001		
MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12%					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	0,073	2	0,036	13,23**	0,000000
TRATAMENTO	0,057	2	0,028	10,32**	0,000000
ESPÉCIE*TRATAMENTO	0,080	4	0,020	7,27**	0,000000
TRATAMENTOS	0,209	8	0,026	9,52**	
RESÍDUOS	0,223	81	0,003		
MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 17,5%					
	SS	GL	QM	F	P
ESPÉCIE	0,127	2	0,063	23,57**	0,000000
TRATAMENTO	0,030	2	0,015	5,50**	0,000000
ESPÉCIE*TRATAMENTO	0,150	4	0,037	19,90**	0,000000
TRATAMENTOS	0,306	8	0,038	14,22**	
RESÍDUOS	0,218	81	0,003		
INCHAMENTO RADIAL MÁXIMO					
	SS	GL	QM	F	P
ESPÉCIE	14,73	2	7,36	23,35**	0,00
TRATAMENTO	75,76	2	37,88	120,15**	0,00
ESPÉCIE*TRATAMENTO	10,77	4	2,69	8,54	0,00
TRATAMENTOS	101,26	8	12,66	40,14**	
RESÍDUOS	25,54	81	0,31		
INCHAMENTO TANGENCIAL MÁXIMO					
	SS	GL	QM	F	P
ESPÉCIE	263,51	2	131,76	142,24**	0,00
TRATAMENTO	193,77	2	96,89	104,49**	0,00
ESPÉCIE*TRATAMENTO	41,55	4	10,39	11,21**	0,00
TRATAMENTOS	498,84	8	62,35	67,31**	
RESÍDUOS	75,03	81	0,93		

Continuação

APÊNDICE 1 – RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA FATORIAL (ANOVA) - CONTINUAÇÃO

INCHAMENTO LONGITUDINAL MÁXIMO					
	SS	GL	QM	F	P
ESPÉCIE	0,075	2	0,037	3,6574*	0,041049
TRATAMENTO	0,022	2	0,011	1,1105 ^{ns}	0,369234
ESPÉCIE*TRATAMENTO	0,167	4	0,042	4,0662**	0,008190
TRATAMENTOS	0,265	8	0,033	3,2251**	
RESÍDUOS	0,832	81	0,010		
INCHAMENTO VOLUMÉTRICO MÁXIMO					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	629,17	2	314,58	175,77**	0,00
TRATAMENTO	425,63	2	212,82	118,91**	0,00
ESPÉCIE*TRATAMENTO	121,85	4	30,46	17,02**	0,00
TRATAMENTOS	1176,65	8	147,08	82,18**	
RESÍDUOS	144,97	81	1,79		
ANISOTROPIA					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	0,068	2	0,034	0,4512 ^{ns}	0,11
TRATAMENTO	1,293	2	0,6464	8,5468**	0,00
ESPÉCIE*TRATAMENTO	1,218	4	0,3046	4,0174**	0,00
TRATAMENTOS	2,579	8	0,3225	4,2632**	
RESÍDUOS	6,126	81	0,0756		
PERDA DE MASSA <i>Lentinula edodes</i>					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	616,724	2	308,362	348,546	0,000000
TRATAMENTO	24,661	2	12,330	13,937	0,000005
ESPÉCIE*TRATAMENTO	435,441	4	108,860	123,046	0,000000
TRATAMENTOS	1076,83	8	134,60	152,14**	
RESÍDUOS	87,79	99	0,8847		
PERDA DE MASSA <i>Pleurotus djamor</i>					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	36,308	2	18,154	17,686**	0,000000
TRATAMENTO	114,609	2	57,304	55,828**	0,000000
ESPÉCIE*TRATAMENTO	132,963	4	33,241	32,385**	0,000000
TRATAMENTOS	283,88	8	35,485	34,574**	
RESÍDUOS	101,617	99	1,0264		
FREQUENCIA DE FUNGOS NOS PAINÉIS					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	2,296	2	1,148	6,6863	0,00
TRATAMENTO	4,518	2	2,259	13,1569	0,00
ESPÉCIE*TRATAMENTO	2,593	4	0,648	3,7745**	0,00
TRATAMENTOS	9,407	8	1,176	6,848**	
RESÍDUOS	17,000	99	0,172		
FREQUENCIA DE EMPENAMENTO NOS PAINÉIS					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	6,796	2	3,398	19,425**	0,00
TRATAMENTO	0,5741	2	0,287	1,6085 ^{ns}	0,2054
ESPÉCIE*TRATAMENTO	1,0370	4	0,259	1,4528 ^{ns}	0,2224
TRATAMENTOS	8,4074	8	1,051	5,889**	0,00
RESÍDUOS	17,667	99	0,178		

Continuação

APÊNDICE 1 – RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA FATORIAL (ANOVA) -
CONTINUAÇÃO

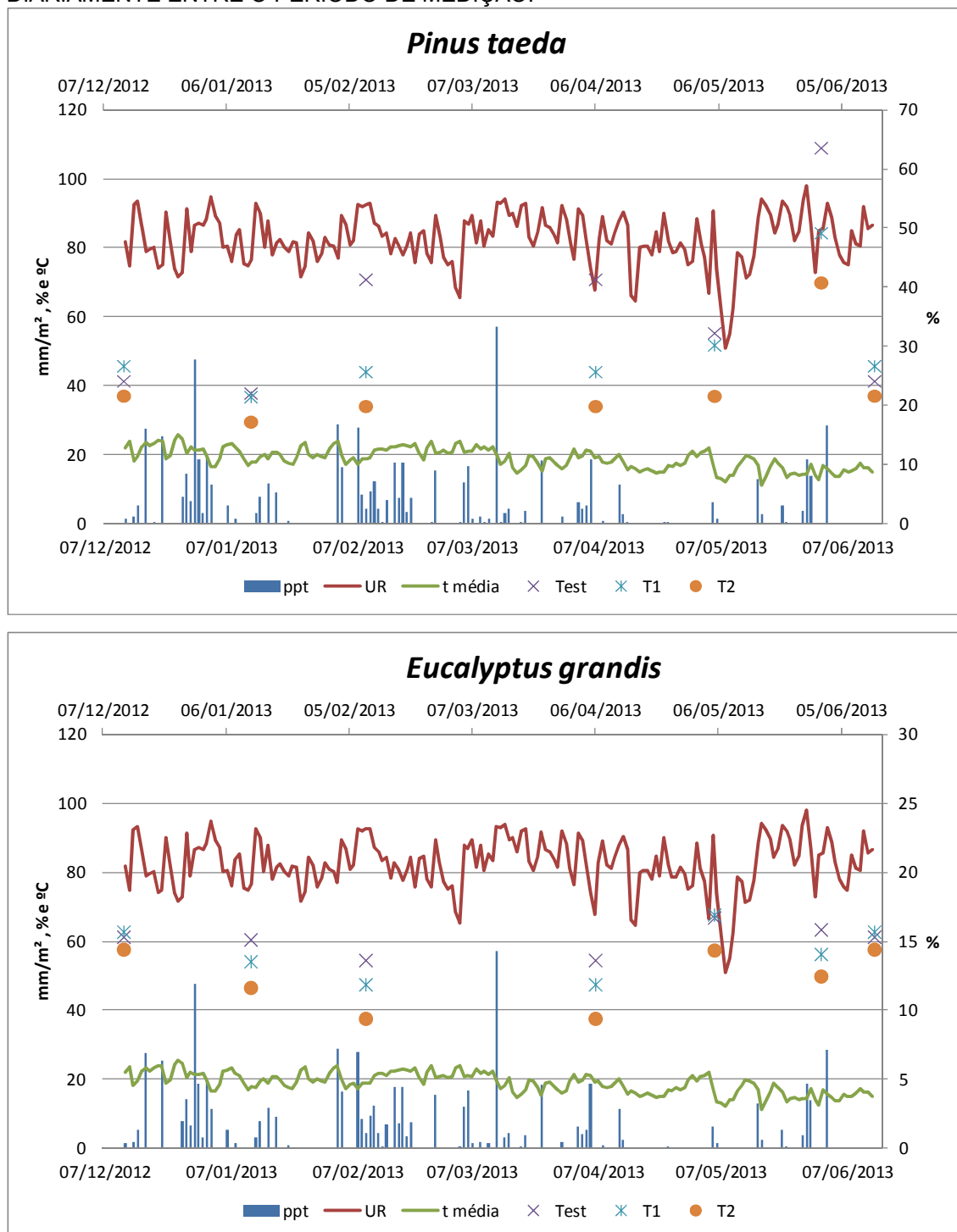
FREQUENCIA DE RACHADURAS NOS PAINÉIS					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	5,574	2	2,787	25,667**	0,00
TRATAMENTO	0,463	2	0,2315	2,1318 ^{ns}	0,124
ESPÉCIE*TRATAMENTO	1,315	4	0,3287	3,0271*	0,0212
TRATAMENTOS	7,352	8	0,9189	8,4632**	0,00
RESÍDUOS	10,750	99	0,1086		
FREQUENCIA DE FUNGOS DOS MINI DECKS					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	3,861	2	1,930	32,43**	0,00
TRATAMENTO	1,778	2	0,889	14,93**	0,00
ESPÉCIE*TRATAMENTO	3,056	4	0,764	12,83**	0,00
TRATAMENTOS	8,694	8	1,087	18,26**	0,00
RESÍDUOS	3,750	63	0,059		
FREQUENCIA DE EMPENAMENTO DOS MINI DECKS					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	2,8611	2	1,4306	6,4955**	0,0027
TRATAMENTO	0,1944	2	0,0972	0,4414 ^{ns}	0,051
ESPÉCIE*TRATAMENTO	1,0556	4	0,2639	1,1982 ^{ns}	0,3204
TRATAMENTOS	4,1111	8	0,5139	2,3333*	0,0291
RESÍDUOS	13,8750	63	0,2202		
FREQUENCIA DE RACHADURAS DOS MINI DECKS					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	2,528	2	1,2639	6,5670**	0,0026
TRATAMENTO	0,694	2	0,3472	1,8041 ^{ns}	0,173
ESPÉCIE*TRATAMENTO	1,972	4	0,4931	2,5619*	0,0469
TRATAMENTOS	5,194	8	0,6493	3,3737**	0,0028
RESÍDUOS	12,125	63	0,1945		
FREQUENCIA DE QUEBRAS DOS MINI DECKS					
	SS	GL	QM	F	p
ESPÉCIE	0,2500	2	0,1250	4,20*	0,0193
TRATAMENTO	0,2500	2	0,1250	4,20*	0,0193
ESPÉCIE*TRATAMENTO	0,5000	4	0,1250	4,20**	0,0044
TRATAMENTOS	1,000	8	0,1250	4,20**	0,00
RESÍDUOS	1,8750	63	0,02976		

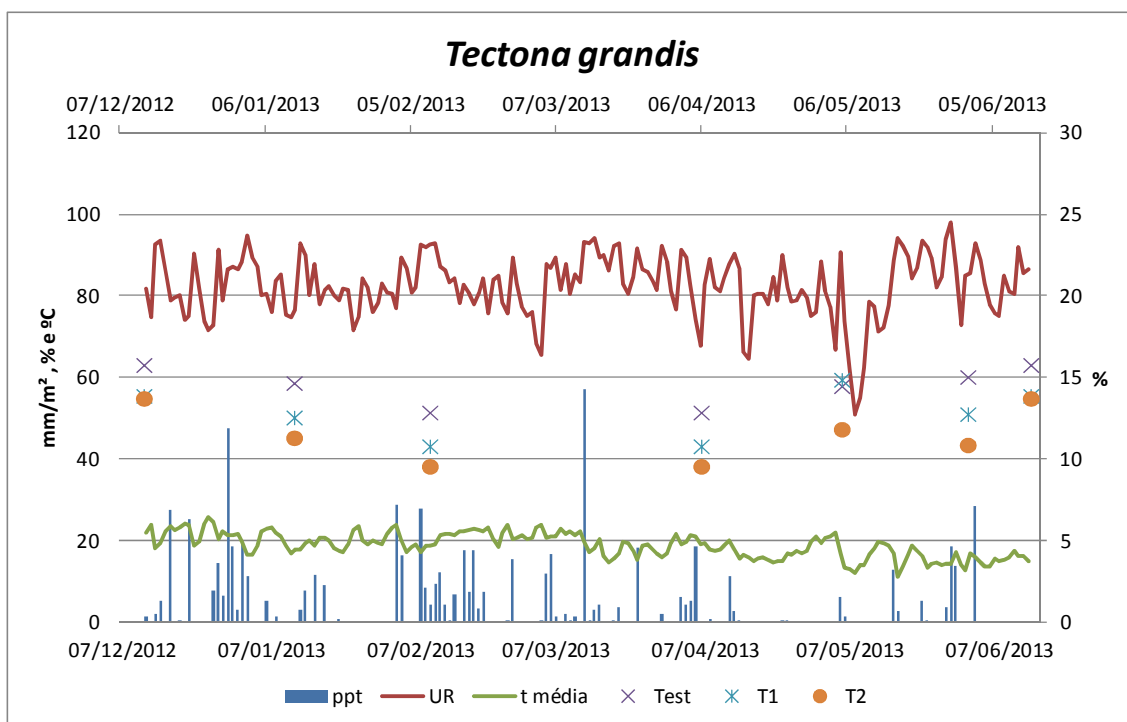
APÊNDICE 2 – RESUMO DAS ANÁLISES DE VERIÂNCIA SIMPLES (ANOVA)

SOLUBILIDADE EM NaOH 1% DE <i>Pinus taeda</i> TESTEMUNHA - INTEMPERISMO					
	SS	GL	QM	F	p
PERÍODO	428,005	1	428,005	4113,74	0,000000
SOLUBILIDADE EM NaOH 1% DE <i>Pinus taeda</i> A 140°C - INTEMPERISMO					
	SS	GL	QM	F	p
PERÍODO	27,419	1	27,419	208,64	0,000002
SOLUBILIDADE EM NaOH 1% DE <i>Pinus taeda</i> A 160°C - INTEMPERISMO					
	SS	GL	QM	F	p
PERÍODO	8,440	1	8,440	121,12	0,000011
SOLUBILIDADE EM NaOH 1% DE <i>Eucalyptus grandis</i> TESTEMUNHA - INTEMPERISMO					
	SS	GL	QM	F	p
PERÍODO	89,149	1	89,149	984,10	0,000000
SOLUBILIDADE EM NaOH 1% DE <i>Eucalyptus grandis</i> A 140°C - INTEMPERISMO					
	SS	GL	QM	F	p
PERÍODO	236,053	1	236,053	2566,74	0,000000
SOLUBILIDADE EM NaOH 1% DE <i>Eucalyptus grandis</i> A 160°C - INTEMPERISMO					
	SS	GL	QM	F	p
PERÍODO	317,90	1	317,90	3294,9	0,000000
SOLUBILIDADE EM NaOH 1% DE <i>Tectona grandis</i> TESTEMUNHA - INTEMPERISMO					
	SS	GL	QM	F	p
PERÍODO	312,983	1	312,983	2896,23	0,000000
SOLUBILIDADE EM NaOH 1% DE <i>Tectona grandis</i> A 140°C - INTEMPERISMO					
	SS	GL	QM	F	p
PERÍODO	589,013	1	589,013	5056,73	0,000000
SOLUBILIDADE EM NaOH 1% DE <i>Tectona grandis</i> A 160°C - INTEMPERISMO					
	SS	GL	QM	F	p
PERÍODO	147,001	1	147,001	1409,55	0,000000

ANEXO

FIGURA 22 – GRÁFICOS DAS VARIÇÕES DO TEOR DE UMIDADE DOS PAINÉIS, PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA MÉDIA E UMIDADE RELATIVA MÉDIA VEIRIFICADAS DIARIAMENTE ENTRE O PERÍODO DE MEDIÇÃO.

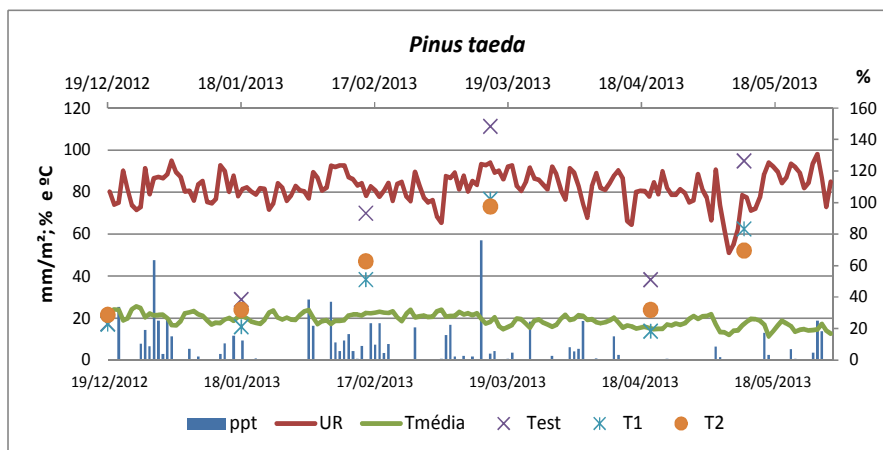


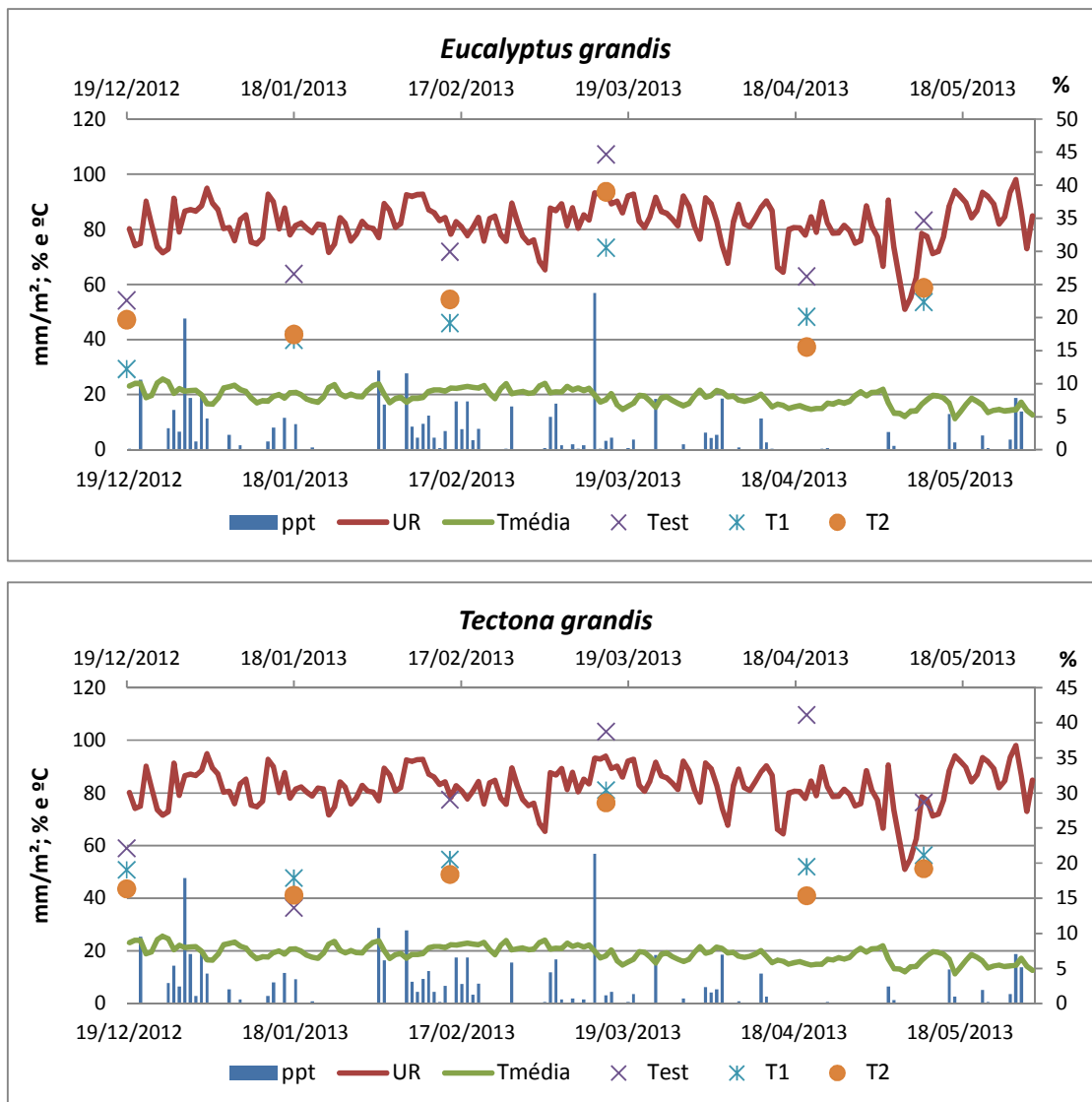


ppt = precipitação, mm/m²; UR = umidade relativa, %; t média = temperatura média em °C; Test = umidade da madeira para tratamento testemunha, %; T1 = umidade da madeira modificação a 140°C, %; e, T2 = umidade da madeira para modificação a 160°C, %. Período de coleta de dados de 12/dez/2012 a 13/jun/2013, fornecidos pelo SIMEPAR.

FONTES: O autor (2013).

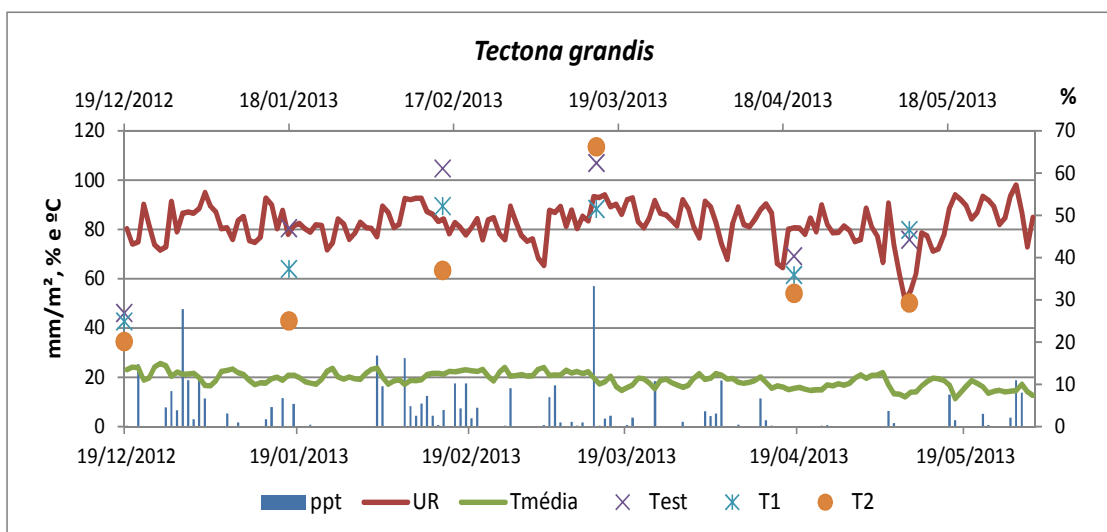
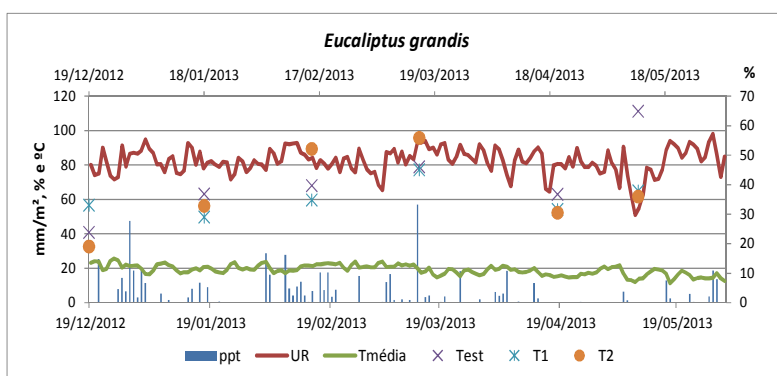
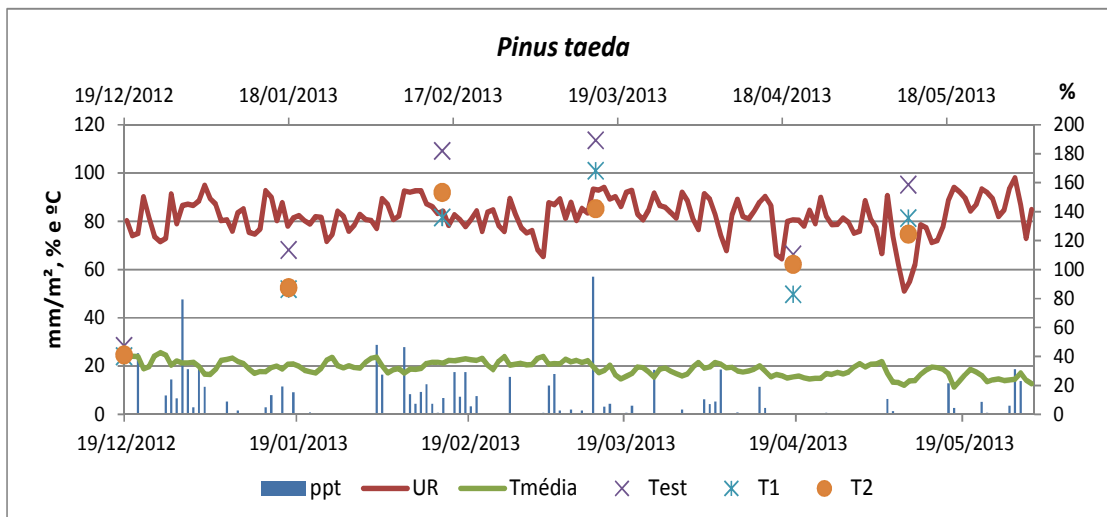
FIGURA 23 - GRÁFICOS DAS VARIAÇÕES TEOR DE UMIDADE DOS MINI DECKS (PEÇAS SUPERIORES), PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA MÉDIA E UMIDADE RELATIVA MÉDIA VERIFICADAS DIARIAMENTE ENTRE O PERÍODO DE MEDIÇÃO.





ppt =precipitação, mm/m²; UR = umidade relativa,%; t média = temperatura média em °C; Test = umidade da madeira para tratamento testemunha, %; T1= umidade da madeira modificação a 140°C, %; e, T2 = umidade da madeira para modificação a 160°C, %. Período de coleta de dados de 19/dez/2012 a 31/mai/2013, fornecidos pelo SIMEPAR.
 FONTE: O autor (2013).

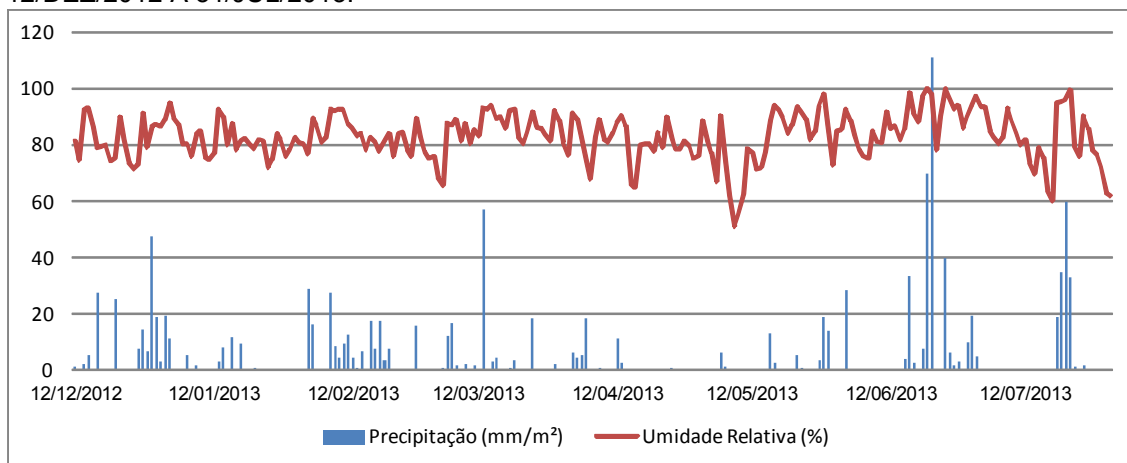
FIGURA 24 - GRÁFICOS DAS VARIAÇÕES DOS TEORES DE UMIDADES DOS MINI DECKS (PEÇAS INFERIORES OU BASE), PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA MÉDIA E UMIDADE RELATIVA MÉDIA VEIRIFICADAS DIARIAMENTE ENTRE O PERÍODO DE MEDIÇÃO.



ppt = Precipitação, mm/m²; UR = Umidade Relativa, %; T média = Temperatura média em °C; Test = Umidade da madeira para tratamento testemunha, %; T1 = Umidade da madeira modificação a 140°C, %; T2 = Umidade da madeira para modificação a 160°C, %. Período de coleta de dados de 19/dez/2012 a 31/mai/2013, fornecidos pelo SIMEPAR.
 FONTE: O autor (2013).

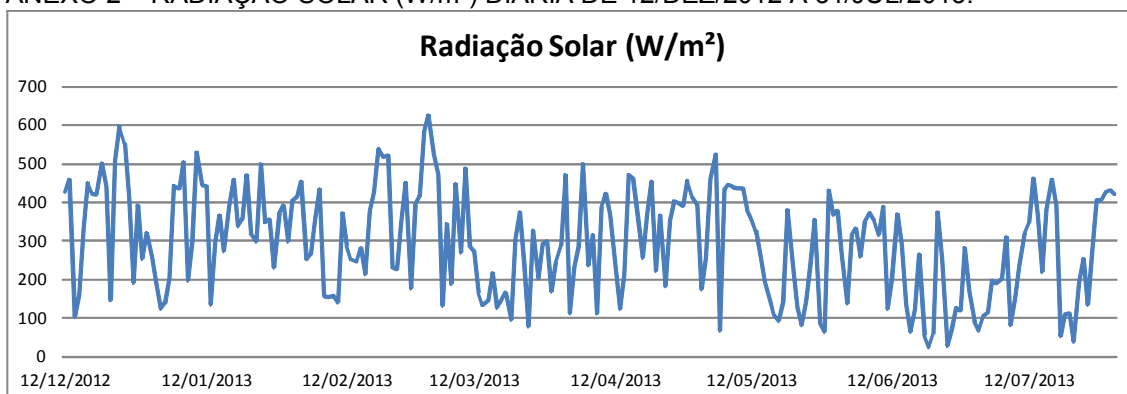
ANEXOS

ANEXO 1 – UMIDADE RELATIVA MÉDIA (%) E PRECIPITAÇÃO (mm.m⁻²) DIÁRIA DE 12/DEZ/2012 A 31/JUL/2013.



FONTE: SIMEPAR (2013).

ANEXO 2 – RADIAÇÃO SOLAR (W/m²) DIÁRIA DE 12/DEZ/2012 A 31/JUL/2013.



FONTE: SIMEPAR (2013).

ANEXO 3 – TEMPERATURAS (°C) MÁXIMA, MÍNIMA E MÉDIA DIÁRIA DE 12/DEZ/2012 A 31/JUL/2013.

