

SOLANGE DE OLIVEIRA ARAÚJO

PROPRIEDADES DE MADEIRAS TERMORRETIFICADAS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2010

SOLANGE DE OLIVEIRA ARAÚJO

PROPRIEDADES DE MADEIRAS TERMORRETIFICADAS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 07 de maio de 2010

Prof.^a Angélica de Cássia O. Carneiro
(Co-Orientador)

Prof. Ricardo Marius Della Lucia
(Co-Orientador)

Prof.^a Ana Márcia M. Ladeira Carvalho

Dr. Daniel Camara Barcellos

Prof. Benedito Rocha Vital
(Orientador)

Agradeço a Deus.

*Dedico aos meus pais e irmãos pelo amor e incentivo
durante todos os momentos da minha vida.*

Na estrada da vida, aprendi que até hoje, e

possivelmente para sempre,

serei apenas o aprendiz da vida

João de Aruand

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, meu eterno agradecimento por tantas graças alcançadas ao longo dessa jornada. E hoje em especial minha tese, que é a realização de um sonho pessoal.

Aos meus queridos e amados pais, Noeme e Durval, pelo amor, dedicação e exemplo de luta e vida.

Ao meu amado irmão Murilo, pela força e torcida para que essa tese se realizasse e, sobretudo, por seus valiosos conselhos. E ao meu irmão Wendel a quem amo tanto.

Ao meu orientador, Prof. Benedito Rocha Vital, pela confiança e oportunidade.

À Professora “Cassinha”, pelos conselhos, orientação e amizade.

À grande amiga Zaíra, uma pessoa fantástica que ao longo desses quatro anos muito me ensinou.

Ao amigo Bráulio, meu “braço direito”, chave principal nesta tese, meus sinceros agradecimentos e minha eterna gratidão.

A todos os funcionários do Lapem, por todos esses anos de amizade, mas em especial ao seu “Maninho” e Aristeu.

Aos amigos do Lapem E LPM, Fábio (Sete), Mariana (Mainha), Carla (Chuck), Wescley, Zé Maria, Sálvio (Molhado).

Agradeço aos meus estagiários Túlio, Fabrício, Gustavo, Mariana, Fabiana, Larissa e a todos os estagiários do Lapem.

A todos os funcionários do LPM, pela ajuda e pela manifestação de carinho para comigo, em especial agradeço ao Osvaldo e Joel.

Aos amigos de Viçosa, que, por todos esses anos, foram minha família, Alécia, Xiomara, Roberto, Fabiana (Fafá), Alessandra, Juliano, Fernando, Dóris e toda sua família e a todos que sempre estiveram presentes torcendo pelo meu sucesso.

À Ritinha, pela sua prontidão em sempre me ajudar e pôr suas sábias palavras.

A todos os amigos LCP, não citarei nomes, pois poderia ser injusta com alguém, a vocês, meu muito obrigado e gratidão.

Ao CNPq e à Fapemig, pelo suporte financeiro, que permitiu a realização deste trabalho.

À empresa Indusparket, pela doação da madeira e em especial ao “Barô”, que tanto se empenhou pela realização desse trabalho.

À Indústria Henkel, pela doação dos adesivos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo Geral.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1. Tratamento térmico da madeira.....	4
3.2. Características químicas da madeira termicamente tratada.....	9
3.3. Efeito do aquecimento sobre a celulose e as polioses (hemiceluloses).....	10
3.4. Efeito do aquecimento sobre a lignina.....	13
3.5. Efeito do aquecimento sobre os extrativos	15
3.6. Madeiras estudadas.....	16
3.6.1. Bracatinga (<i>Mimosa scabrella</i> Bentham)	16
3.6.2. Cumaru (<i>Dipteryx odorata</i>).....	17
3.6.3. <i>Eucalyptus</i> sp.....	18
3.6.4. Peroba mica (<i>Aspidosperma populifolium</i>).....	20
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	22

4.1. Espécies estudadas.....	22
4.2. Preparação da madeira para o tratamento térmico.....	23
4.3. Propriedades Avaliadas	26
4.4. Condução experimental e análises estatísticas.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
5.1. Propriedades físicas	28
5.1.1. Umidade de Equilíbrio higroscópico.....	28
5.1.2. Densidade básica.....	31
5.1.3. Retratibilidade das madeiras.....	35
5.2. Propriedades Mecânicas.....	44
5.2.1. Dureza Janka	44
5.2.2. Resistência à flexão estática.....	50
6. CONCLUSÕES.....	60
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução das vendas de Thermowood	8
Figura 2 - Mecanismos de reação de madeira tratada termicamente	9
Figura 3 - Estufa contendo as amostras a serem termorretificadas	25
Figura 4 - Entablicamento e sistema para fixação das madeiras a serem termorretificadas na estufa	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias de umidade de equilíbrio higroscópico (%) das madeiras de <i>Eucalyptus grandis</i> , Bracatinga, Peroba mica, <i>Eucalyptus sp.</i> e Cumaru em função do método e da temperatura de termorretificação.	29
Tabela 2 - Efeito da temperatura na densidade básica da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> em função da temperatura de termorretificação.	31
Tabela 3 - Valores médios de densidade básica da madeira de Peroba mica em função da temperatura de termorretificação.	32
Tabela 4 - Médias de densidade básica da madeira de Cumaru em função do método de termorretificação.	33
Tabela 5 - Médias de densidade básica (g/cm^3) da madeira de <i>Eucalyptus sp.</i> em função do método e da temperatura de termorretificação.	34
Tabela 6 - Médias de retratibilidade da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> em função do método e da temperatura de termorretificação.	35

Tabela 7 - Médias da retração radial, tangencial e coeficiente de anisotropia da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> em função do método de termorreificação.	36
TABELA 8 - Médias da retração volumétrica total da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> em função do método e da temperatura de termorreificação.	37
Tabela 9 - Médias de retratibilidade da madeira de <i>Eucalyptus sp.</i> em função do método e da temperatura de termorreificação.	38
Tabela 10 - Médias para retratibilidade da madeira de Bracatinga em função do método e da temperatura de termorreificação.	39
Tabela 11- Médias de retratibilidade da madeira de Peroba mica em função do método e da temperatura de termorreificação.	41
Tabela 12 - Médias de retratibilidade da madeira de Cumaru em função do método e da temperatura de termorreificação.	42
Tabela 13 - Médias de dureza Janka (MPa) das madeiras de <i>Eucalyptus grandis</i> , Bracatinga, Peroba mica, <i>Eucalyptus sp.</i> e Cumaru em função do método e da temperatura de termorreificação.	45
Tabela 14 - Valores médios de dureza Janka da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> em função do método de termorreificação.	46
Tabela 15 - Valores médios de dureza Janka da madeira Peroba mica em função do método de termorreificação.	46
Tabela 16 - Valores médios de dureza Janka (MPa) das madeiras de <i>Eucalyptus sp.</i> e Cumaru em função do método e da temperatura de termorreificação.	48
Tabela 17- Valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática, para a madeira termorreificada de <i>Eucalyptus grandis</i> .	50

Tabela 18 - Médias do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática, para a madeira termorretrificada de Bracatinga.	53
Tabela 19 - Médias do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática, para a madeira termorretrificada de Peroba mica.	54
Tabela 20 - Médias do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática, em MPa, para a madeira de <i>Eucalyptus sp.</i>	56
Tabela 21 - Médias do módulo de ruptura (MOR) em flexão estática da madeira de Cumaru em função do método de termorretrificação.	57

RESUMO

ARAÚJO, Solange de Oliveira. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2010. **Propriedades de madeiras termorretrificadas**, Orientador: Benedito Rocha Vital. Co-Orientadores Angélica de Cássia Oliveira Carneiro e Ricardo Marius Della Lucia

Tratamento térmico aplicado na madeira provoca a sua degradação e/ou rearranjo dos seus principais constituintes químicos, principalmente celulose, hemiceluloses e lignina, melhorando algumas propriedades, tais como estabilidade dimensional, resistência ao ataque de organismos xilófagos e a diminuição da higroscopicidade. Isto ocorre principalmente pela degradação dos grupos OH presentes nas hemiceluloses, constituinte mais hidrófilo da madeira. O presente trabalho teve por objetivos determinar o efeito da termorretrificação no equilíbrio higroscópico, densidade, retratibilidade da madeira, dureza Janka, módulo de resistência à flexão estática, módulo de elasticidade na flexão estática nas madeiras de *Aspidosperma populifolium* (Peroba mica), *Dipteryx odorata* (Cumaru), *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus sp.* e *Mimosa scabrella* (Bracatinga). As madeiras foram aquecidas entre os pratos de uma prensa, em uma estufa a vácuo e em uma estufa com nitrogênio. Os tratamentos foram realizados na temperatura ambiente, 180, 200 e 220 °C, por

uma hora, após atingir a temperatura estipulada. Os resultados indicaram grande potencial do tratamento térmico, uma vez que para todas as madeiras termorretrificadas foi observada uma redução no equilíbrio higroscópico, principalmente para o tratamento térmico na estufa com nitrogênio. A espécie de Cumaru foi a que apresentou menor equilíbrio higroscópico. A densidade básica, de um modo geral, foi afetada apenas nas temperaturas de 200 e 220 °C independentemente do método utilizado. As contrações volumétricas tenderam a diminuir com o aumento da temperatura, no entanto, em algumas situações essas contrações foram aumentadas, como nos tratamentos da estufa a vácuo. As propriedades mecânicas foram afetadas de diversas formas. Observou-se que o aumento da dureza Janka não foi tão expressivo. O MOR e MOE para algumas espécies tiveram um incremento destas propriedades, e de outras não. Durante os tratamentos térmicos, a Bracatinga foi a espécie que menos sofreu influência. Já o *Eucalyptus Grandis* e *Eucalyptus sp.* foram as espécies que mais responderam aos tratamentos térmicos na maioria das propriedades, de forma positiva.

ABSTRACT

ARAÚJO, Solange de Oliveira. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2010. **Properties of thermal-rectified wood**, Adviser: Benedito Rocha Vital. Co-Advisers: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro and Ricardo Marius Della Lucia.

Heat treatment applied to the wood leads to the degradation and/or rearrangement of its principal chemical constituents, especially cellulose, hemicelluloses, and lignin, improving some properties such as dimensional stability, resistance to attack by wood decay organisms, and reducing the hygroscopicity. This occurs mainly by the OH groups' degradation present in hemicelluloses, the most hydrophilic wood constituent. This study aimed to determine the thermal rectification effect on the hygroscopic equilibrium, density, wood shrinkage, Janka hardness, module of resistance to static flexural, and module of elasticity in static bending in the woods of *Aspidosperma populifolium* (Peroba mica), *Dipteryx odorata* (Cumaru), *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus sp.*, and *Mimosa scabrella* (Bracatinga). The woods were heated among the plates of a press in a vacuum oven and in one oven with nitrogen. Experiments were carried out at room temperature, 180, 200, and 220°C for one hour, after reaching the stipulated temperature. For all thermal rectified woods, a reduction in hygroscopic equilibrium content was observed, whose results indicated great potential of thermal treatment, mainly in oven with nitrogen. Cumaru species showed the lowest hygroscopic equilibrium. The basic density, in general, was affected only at temperatures of 200 and 220°C, regardless of the used method. The volumetric contractions tended to decrease

with increasing temperature, however, in some cases these contractions were increased, as in the treatments of the vacuum oven. The mechanical properties were affected by different ways. It was observed that the Janka hardness increasing was not so expressive. The MOR and MOE properties for some species had increased, while others do not. During heat treatments, Bracatinga species was less influenced. Already *Eucalyptus Grandis* and *Eucalyptus sp.* were the species that responded positively better to the thermal treatments at the most properties.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as pesquisas de novas tecnologias para melhorar a qualidade e o uso da madeira, encontra-se o tratamento térmico, também conhecido como termorreificação, retificação térmica ou madeira termotratada, processo em que o aquecimento é aplicado à madeira. Consiste na termodecomposição de seus constituintes químicos, principalmente celulose, hemiceluloses e lignina, geralmente na ausência de oxigênio ou na deficiência de ar. Este tratamento causa alterações químicas, físicas e mecânicas na madeira, de acordo a temperatura (RODRIGUES, 2009). Portanto, o tratamento térmico pode variar desde a secagem até a gaseificação (produção de gás). Entre esses dois extremos, há eliminação e formação de diversas substâncias, segundo reações simples e complexas.

A celulose e outros polissacarídeos representam a maior parcela dos componentes químicos da madeira. Consequentemente, é possível considerar que o comportamento da madeira termicamente tratada tenha uma grande dependência dos fenômenos termodegradativos ocorrendo sobre tais polissacarídeos.

O tratamento térmico traz inúmeras vantagens às propriedades tecnológicas da madeira, e essas características variam principalmente em função da temperatura final do processo, do tempo do tratamento, da velocidade de aquecimento e das propriedades iniciais da madeira.

As principais alterações nas propriedades da madeira são o aumento da estabilidade dimensional, o aumento da resistência ao ataque de organismos xilófagos e a diminuição da higroscopicidade. Porém quando se avaliam as propriedades mecânicas, nota-se aumento ou diminuição de tais propriedades, causando algumas dissensões entre os resultados encontrados por alguns autores. Algumas divergências levam a acreditar que estas mudanças, variam entre espécies de madeiras e dependem dos parâmetros usados no tratamento térmico.

O tratamento térmico não emprega produtos químicos, fator muito importante no aspecto ambiental. Além disso, por aumentar a resistência ao apodrecimento e à estabilidade dimensional da madeira, o processo pode se transformar numa opção para substituição de madeiras tradicionais, principalmente para aquelas que apresentam elevado custo de obtenção, bem como para as espécies em extinção (PINCELLI, 1999).

Estudos mostram que este tratamento pode beneficiar a madeira de alburno, melhorando suas características e agregando um maior valor a esta madeira que muitas vezes é desprezada (BRITO, 1993).

Uma vez tratada termicamente a madeira pode ser usada para revestimentos, confecção de paredes à prova de som, assoalhos, terraços, decks de barcos, móveis para jardim, batentes de porta e janela, parques infantis, móveis externos e internos, portões, cercas, instrumentos musicais, dentre outros.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da temperatura e de métodos de tratamento térmico nas propriedades das madeiras de *Mimosa scabrella* (Bracatinga), *Dipteryx odorata* (Cumaru), *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus sp.* e *Aspidosperma populifolium* (Peroba mica).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho teve por objetivo geral avaliar as propriedades físicas e mecânicas de madeiras termorretificadas de *Mimosa scabrella* (Bracatinga), *Dipteryx odorata* (Cumaru), *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus sp* e *Aspidosperma populifolium* (Peroba mica).

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar três métodos de termorretificação da madeira: Prensa, Estufa a vácuo e Estufa com nitrogênio.
- Analisar a influência das temperaturas, 180, 200 a 220 °C, nos tratamentos térmicos.
- Determinar a variação volumétrica, o fator anisotrópico, massa específica e umidade das cinco espécies tratadas termicamente.
- Determinar o efeito da termorretificação nos módulos de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR) em flexão estática e dureza Janka.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Tratamento Térmico da Madeira

A madeira é composta principalmente por três polímeros: celulose, hemiceluloses e lignina. Todas suas propriedades físicas, químicas e mecânicas são influenciadas pelo comportamento destes compostos. Apesar das suas excelentes propriedades tecnológicas, que permitem sua utilização em várias áreas, ainda existem algumas limitações que podem afetar o uso da madeira para determinados fins, como, por exemplo, a instabilidade dimensional, a inflamabilidade, a degradação devido à radiação UV e a biodeterioração, dentre outros. Frente a essa realidade, diferentes técnicas têm sido utilizadas para melhorar essas propriedades, tais como, preservativos, pesticidas, tintas UV-absorvente etc. No entanto, muitos deles têm impactos ambientais, por esta razão suas aplicações estão sendo restringidas em diferentes países devido às leis e às pressões da mídia (MOHEBBY, 2003a).

Nas últimas décadas, os cientistas estão pesquisando novas técnicas para melhorar as propriedades da madeira, de forma a ampliar a sua utilização. Diferentes técnicas foram estudadas e empregadas, dentre elas, o tratamento térmico (aquecimento), que já é conhecido como um dos mais antigos, mais fáceis e mais baratos métodos para melhorar as propriedades da madeira, por exemplo, a higroscopicidade, estabilidade dimensional e biorresistência.

Estes benefícios na madeira foram comprovados por diversos pesquisadores, dentre eles, Dirckx (1988) e Dirckx et al. (1992), que afirmam ter a madeira termicamente tratada maior estabilidade na coloração, e que a descoloração causada pela luz é principalmente devida à degradação da lignina. Nesta mesma linha de pesquisa, Kalnins (1966) e Mazet (1988) verificaram que os extrativos têm propriedades antioxidantes, podendo limitar esta descoloração. Desta forma, a madeira termicamente tratada proporciona melhor estabilização da cor da madeira quando submetida à luz, o que pode ser parcialmente explicado pela condensação da lignina e dos conteúdos fenólicos (KOLLMAN & FENGEL, 1965). Essa mudança de cores que a madeira termicamente tratada adquire faz com que tenha colorações semelhantes às aquelas madeiras tropicais de maior valor econômico agregado (MOURA, 2007).

Estudando o efeito da termorreificação na madeira de *Pinus caribaea*, Borges e Quirino (2004) encontraram um aumento significativo na estabilidade dimensional devido à redução na sua higroscopicidade, ocasionado pela degradação da hemiceluloses e outras modificações ocorridas na estrutura da madeira. Também de acordo com os autores acima, Jämsä & Viitaniemi (2001), além de encontrarem um aumento na estabilidade dimensional da madeira após o tratamento térmico, observaram uma redução na resistência e na densidade da madeira. Resultados similares foram observados por Brunneti et al. (2007) para a resistência das madeiras de cerejeira e noqueira tratadas entre 70 e 210°C.

Essas mudanças ocorrem porque na madeira termicamente tratada há a termodegradação de seus constituintes. Assim, obtém-se um material com reduzida higroscopicidade pela decomposição dos grupos OH presentes nas hemiceluloses, constituintes mais hidrófilos da madeira (BRITO, 1993).

Os primeiros trabalhos publicados sobre o tratamento térmico da madeira foram feitos por Stamm e Hansen em 1930, na Alemanha. Em seguida, por White na década de quarenta nos Estados Unidos. Na década de cinquenta, os alemães Bavendam, Runkel e Buro deram continuidade à investigação sobre o assunto. Kollman e Schneider publicaram suas

descobertas na década de sessenta e Rusche e Burmester, na década de setenta. Mais recentemente, trabalhos de pesquisas foram realizados na Finlândia, França e Holanda em 1990. Mas um trabalho mais completo e abrangente foi conduzido, em 1996, pela instituição, VTT Technical Research Centre of Finland, na Finlândia (THERMOWOOD® HANDBOOK, 2003).

Somente no início do ano 2000, a termorretrificação foi instalada em escala industrial, e diversos processos surgiram na Europa. Militz (2002) relata que as principais diferenças entre estes processos estão relacionadas ao teor de umidade inicial da madeira, às temperaturas e ao tempo de exposição das peças ao tratamento e às condições da atmosfera (utilização de oxigênio ou nitrogênio, a presença ou ausência de vapor, processo seco ou úmido e a utilização de óleos). Dentre as principais tecnologias, destacam-se:

1. RetiWood (Madeiras Retificadas), na França, que emprega um sistema misto entre câmara e autoclave, a madeira apresentando um teor de umidade inicial de 12 %, sendo tratada com temperaturas variando entre 210 e 240 °C na presença de nitrogênio (VERNOIS, 2001; GOHAR & GUYONNET, 1998).

2. PLATO WOOD: nos Países Baixos, cuja tecnologia PLATO® é baseada em quatro etapas:

a) hidrotermólise: tratamento térmico a 150-180°C em condição aquosa sob pressão (4-5 horas);

b) secagem convencional (3-5 dias);

c) tratamento térmico a 150-190°C sob condições secas (14-16 horas);

d) condicionamento de 2 a 3 dias (TJEERDSMA et al., 1998, 2000; BOONTRA et al., 1998).

3. Oil Heat Treatment (OHT): processo realizado pela MENZ HOLZ na Alemanha, no qual a madeira é tratada em um tanque fechado imersa em óleo quente com temperaturas variando entre 180 e 220°C durante 2-4 horas, não considerando o tempo de aquecimento inicial e resfriamento pós-tratamento (RAPP, 2001; RAPP & SAILER, 2002; THÉVENON, 2002).

4. THERMOWOOD®: processo desenvolvido pela VTT na Finlândia. Este tratamento apresenta três diferentes fases:

- a) secagem da madeira verde a alta temperatura (100-130°C);
- b) tratamento térmico a $190 \pm 2^\circ\text{C}$ (Madeira Thermo-S) ou $212 \pm 2^\circ\text{C}$ (Madeira Thermo-D) durante 2-4 horas, dependendo do produto final que se deseja obter;
- c) resfriamento e reumidificação da madeira a 4-8%. (RAPP, 2001; MILITZ, 2002).

No processo Thermowood, a letra “S” no Thermo-S’ indica estabilidade, sendo a propriedade utilizada na classificação dos produtos nesta classe de tratamento. A média tangencial do inchamento e da contração prevista para a classe de madeira tratada por este processo é de 6 a 8%. A letra “D” no Thermo-D indica durabilidade, sendo a propriedade utilizada na classificação dos produtos nesta classe de tratamento. A média prevista para o inchamento e contração da classe Thermo-D é de 5 a 6%. As classes Thermo-S e Thermo-D são classificações relativas à durabilidade, segundo o padrão EN 113. O padrão EN 113 refere-se à madeira conservada e determina se o método utilizado para proteção é eficaz contra a deterioração causada por basidiomicetos, determinando os valores de toxidez (SYRJÄNEN & OY, 2001; JASMA & VIITANIEMI, 2001).

5. Thermoholz são processos mistos das tendências anteriores utilizados na Áustria na Suíça, Bélgica (MILITZ, 2002).

Embora todos esses processos utilizem temperaturas relativamente altas, não podem ser considerados torrefação propriamente dita, em função do uso final dos seus produtos não serem como combustíveis. São produtos usados para móveis para ambientes internos e externos, esquadrias, carpintaria, decks, assoalhos, saunas, paredes externas, embalagens para alimentos, entre muitos outros (RODRIGUES, 2009).

Na Europa, o mercado para este produto já está consolidado uma vez que, em 2008, a produção industrial dos produtos “termotratados” atingiu níveis superiores a 120.000 metros cúbicos, atendendo à demanda nas

diversas áreas de utilização de madeiras. Somente na Suécia e Finlândia, os produtores associados ao ThermoWood® atingiram níveis de vendas acima de 72.000 m³/anuais (Figura 1).

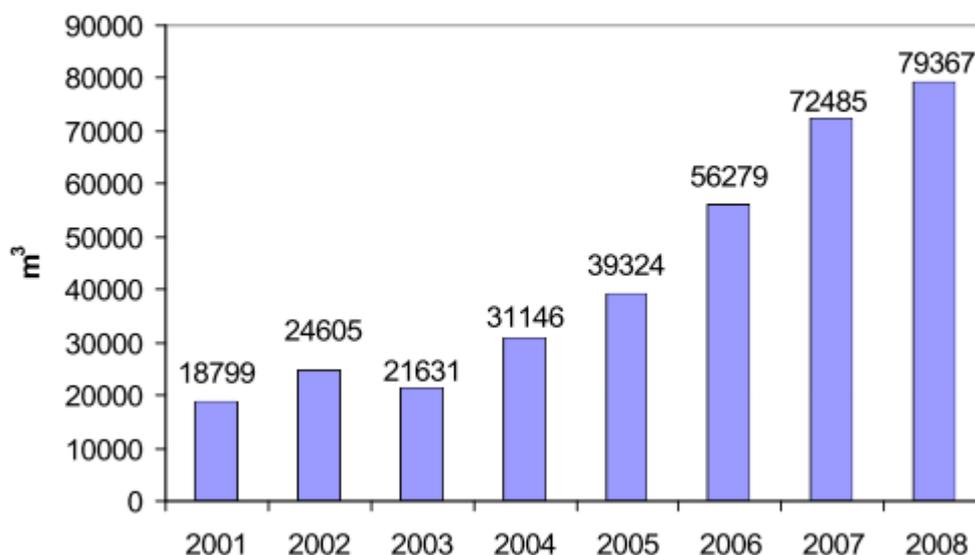


FIGURA 1 - Evolução das vendas de ThermoWood.
Fonte: Treated Wood Brazil - TWBrazil (2008).

Na Europa, cada empresa nomeia a madeira termicamente tratada de acordo com seu interesse e forma para atrair seus clientes. São encontrados, produtos com o nome de Envelhecimento controlado, Conversão de madeiras leves para nativas, tropicalização de coníferas, tratamento ecológico sem químicos, entre muitas outras (TWBRAZIL, 2010).

Embora os benefícios da madeira termicamente tratada sejam comprovados em espécies europeias, no Brasil a termorretificação é pouco pesquisada. As primeiras referências sobre o emprego da termorretificação de madeiras foram apresentadas por Brito (1993). O autor obteve resultados específicos sobre a influência da temperatura no processo na redução da massa, alteração na densidade, composição química e capacidade de retração volumétrica de *Eucalyptus saligna*.

3.2. Características químicas da madeira termicamente tratada

A madeira quando aquecida passa por transformações químicas e físicas. Essas alterações estão ligadas diretamente a mudanças dos principais constituintes químicos da madeira, celulose, hemiceluloses e lignina, que se decompõem em diferentes formas (Figura 2). Vale ressaltar que o aquecimento, isoladamente, não é o único responsável pelas transformações sofridas pela madeira. Existem fatores adicionais influenciando o processo, tais como o tempo de tratamento, a velocidade de aquecimento, a atmosfera, a pressão, a espécie da madeira utilizada etc. Essas interações causam importantes alterações na estrutura da madeira. Em tais casos são obtidos produtos que possuem características significativamente diferenciadas da madeira original. Portanto, é possível administrar a interação de tal forma a atender um objetivo específico do processo (BRITO, 1993).

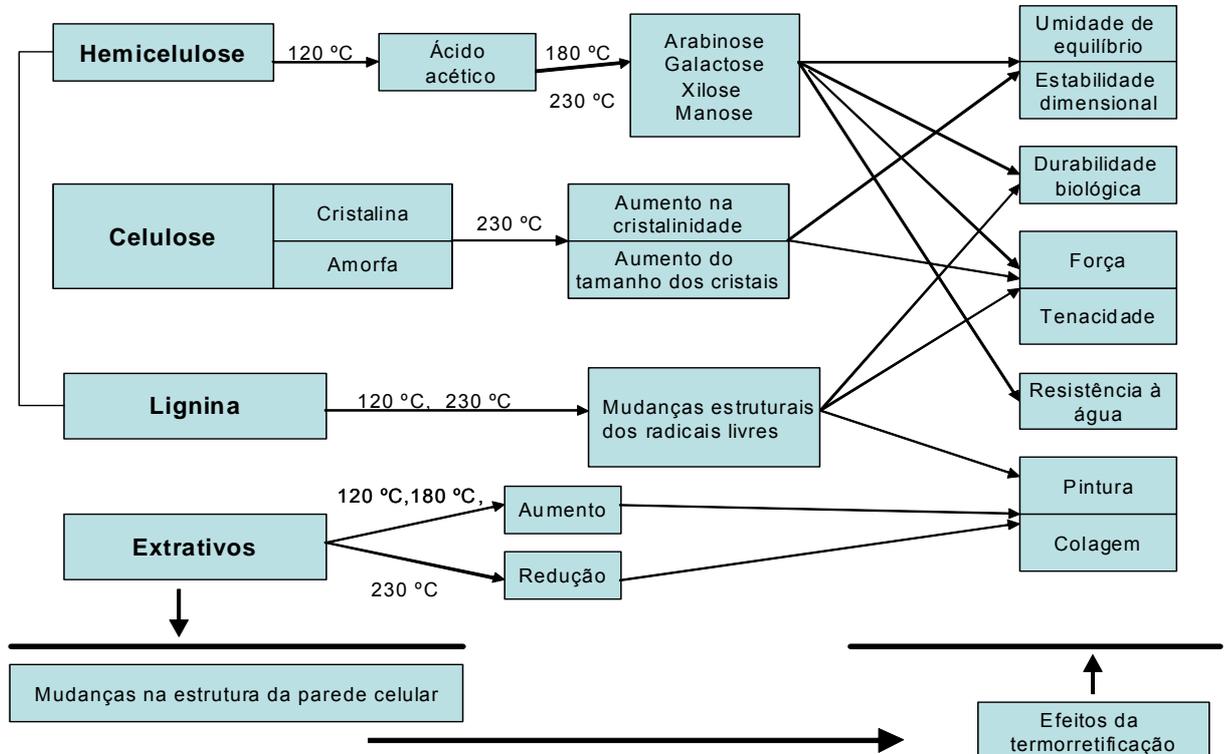


FIGURA 2 - Mecanismos de reação de madeira tratada termicamente.
Fonte: VTT (1996).

A madeira começa a sofrer degradação térmica a partir de 180 °C com a liberação de dióxido de carbono, ácido acético e alguns componentes fenólicos (GIRARD e SHAH, 1991).

Celulose e lignina se degradam mais lentamente e em temperaturas mais elevadas do que as hemiceluloses. Os extrativos da madeira se degradam mais facilmente, e esses compostos podem se volatilizar da madeira durante a termorreificação (OLIVEIRA, 2009).

Muitos dos resultados encontrados na literatura sobre a ação do calor na madeira são geralmente conflitantes, pois dependem das condições em que a madeira se encontra e, principalmente, de como o processo foi conduzido.

3.3. Efeito do aquecimento sobre a celulose e as polioses (hemiceluloses)

A celulose é o composto orgânico mais comum na natureza. Ela constitui entre 40 e 50% de quase todas as plantas, perfazendo aproximadamente a metade das madeiras tanto de coníferas, como de folhosas. É um polissacarídeo que se apresenta como um polímero de cadeia linear com comprimento suficiente para ser insolúvel em solventes orgânicos, água, ácidos e álcalis diluídos, à temperatura ambiente, consistindo única e exclusivamente de unidades de β - D - anidroglicopiranosose, que se ligam entre si através dos carbonos 1-4, possuindo uma estrutura organizada e parcialmente cristalina. Devido a suas propriedades químicas e físicas, bem como à sua estrutura supra molecular, preenche sua função como o principal componente da parede celular dos vegetais (KLOCK et al., 2005)

Polioses (hemiceluloses) são polissacarídeos presentes na madeira (25-35%) em menor grau de polimerização que a celulose, seu peso molecular varia entre 25.000 a 35.000. Estão associadas à celulose e à lignina nos tecidos vegetais. Enquanto a celulose é formada pela repetição da mesma unidade monomérica, nas polioses aparecem várias unidades de açúcares diferentes, de 5 ou 6 átomos de carbono. Deve-se sempre lembrar que o termo polioses não designa um composto químico definido, mas sim uma classe de componentes poliméricos presentes em vegetais fibrosos, possuindo cada

componente propriedades peculiares. Como no caso da celulose e da lignina, o teor e a proporção dos diferentes componentes encontrados nas polioses de madeira variam grandemente com a espécie e, provavelmente, também de árvore para árvore (KLOCK et al., 2005).

Durante o tratamento térmico, os constituintes químicos da madeira sofrem alterações, mas a maioria das mudanças ocorre nas hemiceluloses. O primeiro constituinte da madeira a sofrer alterações sob a ação do calor são as hemiceluloses, que iniciam a sua degradação a 225°C e estão completamente degradadas a 325°C (ROWELL, 2005). Quando o tratamento térmico é realizado em ambiente hermético, a decomposição das hemiceluloses acontece ainda mais rapidamente, sendo catalisada pelos ácidos orgânicos, como o ácido acético, subprodutos do aquecimento inicial (MITCHELL et al., 1953).

Assim como a celulose, as hemiceluloses formam compostos de adição e substituição com seus grupos hidroxilas, podendo sofrer reações de oxidação e degradação (CABRAL, 2005).

No entanto, apesar de a celulose e de as hemiceluloses sofrerem reações semelhantes, há diferenças importantes entre suas reatividades. Estas diferenças são devidas muito mais à estrutura física do que à estrutura química, e são mais bem caracterizadas como diferenças em acessibilidade (CABRAL, 2005).

No tratamento térmico, o ácido acético é formado pela acetilação, que é uma reação em que ocorre a substituição dos grupamentos hidroxílicos (-OH) presentes na madeira, por grupamentos acetil, ocorrendo esta reação dentro da parede celular. O ácido acético liberado serve como um catalisador na hidrólise de hemiceluloses de açúcares solúveis. Essa reação altera as propriedades físicas da madeira por afetar de forma significativa a sua higroscopicidade, tornando-a menos higroscópica (THERMOWOOD® HANDBOOK, 2003).

Militz e Tjeerdsma (2001), também pesquisando o tratamento térmico da madeira, verificaram um aumento principalmente na sua estabilidade dimensional, e que essa mudança ocorre principalmente nas duas primeiras fases. Esses autores afirmam ainda que essas mudanças são consequências

das reações já conhecidas na própria química da madeira, ou seja, formação dos ácidos carboxílicos (ácido acético e fórmico) liberados pelas hemiceluloses. O ácido acético liberado das hemiceluloses promove a catálise da divisão de carboidrato, causando a redução do grau de polimerização dos carboidratos. A degradação do ácido catalisado resulta na formação de formaldeído, furfurool e outros aldeídos.

Tjeerdsma et al. (1998) submeteram amostras de madeira termicamente tratada de beech (*Fagus sylvatica L.*) e pinus scots (*Pinus sylvestris L.*) à análise de espectroscopia de Fourier Transform Infra Red spectroscopy (FTIR). Esta técnica foi utilizada para determinar a intensidade de ligações específicas e grupos funcionais dentro da estrutura polimérica. A divisão de grupos acetílicos da hemicelulose ocorreu na primeira fase do tratamento sob umidade e elevada temperaturas. Isto resulta na formação de ácidos carbônicos, principalmente de ácido acético.

A maioria dos grupos acetílicos foram modificados durante o tratamento da madeira a elevada temperatura, já a desacetilação (processo que reduziria a percentagem de radicais acetis evitando a formação dos ácidos orgânicos responsáveis por acelerar a degradação da madeira) ocorreu a temperaturas moderadas. A concentração de grupos hidroxílicos acessíveis foi medida pela acetilação e se reduziu após o tratamento a elevada temperatura. As reações de esterificação ocorreram sob condições secas, a elevadas temperaturas da fase de cura, indicada pelo aumento do específico pico ester carbonil a 1740 cm^{-1} no espectro FTIR. Os ésteres foram modificados para serem principalmente ligados ao complexo de lignina, considerando que os grupos carbonilas formados foram encontrados na madeira tratada termicamente, contudo estavam ausentes na holocelulose isolada. A esterificação contribui para a diminuição da higroscopicidade da madeira e, conseqüentemente, para a melhoria da sua estabilidade dimensional e durabilidade.

Fazendo uma analogia entre coníferas e folhosas, Fengel e Wegener (1989) e Siau (1971) ressaltaram que em geral as coníferas toleram melhor o aquecimento do que as folhosas e isto se deve à maior concentração de pentoses nas hemiceluloses das folhosas e por serem as hexoses presentes

nas hemiceluloses das coníferas, as mais tolerantes ao calor. A decomposição das hemiceluloses ocorre entre 200-260 °C, e a da celulose entre 240-350 ° C. Uma vez que a quantidade de hemiceluloses em madeira das espécies de folhosas é superior à da espécies coníferas, é mais fácil a degradação nas folhosas do que nas coníferas. No entanto, o rompimento de uma cadeia de hemiceluloses não reduz tanto a resistência da madeira, como faria a quebra das cadeias de celulose (KOTILAINEN, 2000).

Em relação ao comportamento da celulose ao aquecimento, Fengel e Wegener (1989) consideram que a celulose pode coexistir em duas formas distintas quanto à sua organização estrutural: amorfa e cristalina: a primeira apresenta uma maior sensibilidade ao calor, e a segunda, devido à sua estrutura, é muito mais resistente. Kim et al. (2001) observaram que esse tipo de celulose, cristalina, sente os efeitos do calor quando a temperatura alcança valores superiores a 300 °C e que a umidade pode contribuir para a redução da degradação total. A combinação calor + água seria o suficiente para permitir que a região amorfa se convertesse para a forma cristalina, tornando-se mais resistente (FENGEL E WEGENER, 1989). Este é um dos motivos pelos quais se torna difícil estimar o conteúdo de hemiceluloses em uma amostra de madeira. Não se sabe até que ponto o experimento está acompanhado apenas a perda de massa devido à hemiceluloses ou se as alterações de massa estão vinculadas às transformações da celulose de um tipo em outro (OLIVEIRA, 2009).

3.4. Efeito do aquecimento sobre a lignina

A lignina é o terceiro componente fundamental em importância da madeira, ocorrendo entre 15 e 35% de seu peso. Ela não ocorre sozinha na natureza e é impossível ser removida quantitativamente da estrutura da madeira sem considerável degradação. As ligninas são a fração não-polissacarídea da madeira livre de extrativos, extremamente complexas e difíceis de caracterizar. São constituintes da parede celular, de natureza polimérica e tridimensional, extremamente complexas, formadas pela

polimerização desidrogenativa, catalisada por enzimas, via radical livre, dos precursores do ácido cinamílico. É constituída de unidades de fenil-propano unidas por ligações C-O-C e C-C e com diferentes teores de grupos alcoólicos e metoxílicos dependendo da madeira. Os precursores da lignina são o álcool trans-coniferílico, álcool trans-sinapílico e álcool trans-para-cumárico.

Na planta, é a lignina que mantém unidas as fibras, formando um material altamente resistente e elástico, conferindo à madeira resistência a esforços mecânicos. O teor de lignina varia de 25-30% e de 20-25%, em coníferas e folhosas, respectivamente, e não tem a mesma estrutura química em todas elas. Portanto, a lignina não deve ser considerada uma substância química única (de estrutura definida), mas sim, uma classe de materiais correlatos, constituída de carbono, hidrogênio e oxigênio, o que faz dela uma importante fonte desses elementos (THERMOWOOD® HANDBOOK, 2003).

Durante o tratamento térmico, ligações entre as unidades de fenil-propano são parcialmente quebradas. As ligações éter-arila entre unidades de siringil se quebram mais facilmente do que as ligações entre unidades guaiacil. Reações termoquímicas são mais comuns para cadeias de lado alica que ligações éter aril-alquil. Quanto maior o tempo de auto-hidrólise, mais reações de condensação ocorrem. Produtos da reação de condensação incluem grupos β -Ketone e grupos conjugados de ácido carboxílico.

De todos os constituintes da madeira, a lignina possui a melhor capacidade de suportar aquecimento. O teor de lignina começa a diminuir somente quando a temperatura ultrapassa 200 ° C, quando as ligações éter β -aril começam a quebrar. A elevada temperatura, o teor de metoxilas da lignina diminui e algumas das unidades não condensadas da lignina são transformadas em unidades do tipo difenil-metano. Por conseguinte, a condensação do tipo difenil-metano é a reação mais típica no intervalo, de temperatura entre 120-220°C. Esta reação tem um efeito significativo sobre as propriedades da lignina no tratamento térmico, como a sua cor, reatividade, e dissolução.

Na segunda etapa do tratamento, a autocondensação da lignina deve ocorrer pela formação de pontes metilênicas conectando os anéis aromáticos.

Os sítios dos anéis aromáticos são liberados pela desmetoxilação e através da divisão, C α benzílico carregado positivamente, esses sítios livres dos anéis aromáticos levam à criação de novas ligações químicas entre as cadeias poliméricas, aumentando o número de ligações C=C e diminuindo os grupos de hidroxilas, e estas reações criariam uma nova “pseudo-lignina”, que seria mais hidrofóbica e mais rígida do que a original (DUCHEZ e GUYONNET, 1998).

3.5. Efeito do aquecimento sobre os extrativos

É conveniente diferenciar os componentes da parede celular, que são os polissacarídeos e lignina, dos componentes acidentais. Os componentes acidentais são substâncias consideradas não integrantes da parte estrutural da parede celular ou lamela média. A maioria dos componentes acidentais são facilmente solúveis em solventes orgânicos neutros ou água, esses são chamados extrativos. Alguns outros, tais como proteínas, materiais inorgânicos e ácidos e sais orgânicos, são parcialmente insolúveis nos solventes usados para remover os extrativos. Pode-se, portanto, dividir os componentes acidentais da madeira em duas classes. A primeira classe engloba materiais conhecidos como extrativos por serem extraíveis em água, em solventes orgânicos neutros, ou volatilizados a vapor. A segunda classe engloba materiais normalmente não extraíveis nos agentes mencionados (KLOCK et al.,2005)

Os extrativos são frequentemente responsáveis por determinadas características da madeira, como cor, cheiro, resistência natural ao apodrecimento, gosto e propriedades abrasivas. Sua composição e quantidade relativa dependem de diversos fatores, como espécie, idade e região de procedência etc. Aproximadamente de 3 - 10% da madeira seca é constituída de extrativos, sendo que, geralmente para as madeiras de coníferas, esse teor fica na faixa de 5 - 8%, e para as folhosas de regiões temperadas, na faixa de 2 - 4%, podendo chegar a valores superiores a 10% na madeira de espécies de regiões tropicais (KLOCK et al.,2005).

Por não serem componentes estruturais da madeira, a maioria destes compostos se evaporam facilmente durante o tratamento térmico. Oliveira (2009) descreve que essas substâncias, quando submetidas ao tratamento térmico, também podem ser observadas na superfície da madeira como uma resina ou goma superficial. Nuopponem et al. (2003) observaram os dois comportamentos destas substâncias, especialmente as ceras e gorduras de baixa massa molecular, as quais migraram para a superfície quando as amostras foram submetidas a tratamentos térmicos entre 100 e 160 °C e evaporaram completamente quando submetidas ao tratamento em 180 °C.

3.6. Madeiras estudadas

3.6.1. Bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham)

A Bracatinga é uma espécie florestal nativa, de ocorrência natural em zonas de clima frio e úmido. Segundo Carvalho (2003), a área de distribuição localiza-se entre as latitudes 21°30'S a 29°50'S. Em relação à longitude está distribuída entre 48°30' W a 53°50' W (ROTTA & OLIVEIRA, 1981).

Existem três variedades populares de Bracatinga, que são conhecidas como variedades Argentina, branca e vermelha. A Bracatinga Argentina é denominada *Mimosa scabrella* var. *aspericarpa*, e apesar do nome vulgar, é uma espécie que não ocorre naturalmente na Argentina. As bracatingas branca e vermelha são denominadas de *Mimosa scabrella* var. *scabrella* (EMBRAPA, 1988).

A madeira tem pequena durabilidade natural quando em contato com o solo, sendo de baixa permeabilidade a produtos preservativos (Inoue *et al.*, 1984). Possui óleo-resina escasso nas células do parênquima axial vasicêntrico e nos poros e em abundância nas pontuações raiovasculares (MAINIERI & CHIMELO, 1989). É uma madeira de média densidade, 0,51 a 0,61 g/cm³ (STURION & SILVA, 1989).

Segundo Baggio et. al. (1986), é a espécie utilizada para a produção de lenha mais antiga do sul do País, sendo uma das espécies de crescimento

inicial mais rápido nesta região. Os plantios na região Sul apresentam rotação estimada de quatro a sete anos para energia. Em regeneração natural, também para finalidades energéticas, o ciclo de corte é de seis a oito anos, admitindo-se densidade média de 2200 plantas por hectare (CARVALHO, 1994).

Além disso, a madeira é usada para compensados, aglomerados e embalagens leves, também para a obtenção de carvão vegetal, cabos de ferramentas, vigamentos, e, mais recentemente, na fabricação de móveis e pisos (BAGGIO & CARPANEZZI, 1998). Segundo Carvalho (2003), a madeira de Bracatinga também é utilizada para vigamentos, escoras em construção civil, caixotarias, embalagens leves, cabos de ferramentas e utensílios domésticos, tacos e tábuas para assoalhos, carvão vegetal, além de peças para artesanato e marcenaria em geral.

Ainda pode-se obter da espécie um composto (trigalactosil pinitol) que possibilita a melhora na qualidade de produtos industrializados, como alimentos, fármacos, cosméticos e explosivos.

Um estudo feito pela Universidade Federal do Paraná (1979) com a Bracatinga, avaliando seu potencial tecnológico para madeira serrada, concluiu que a madeira é relativamente difícil de ser cortada, mas fácil de aplainar e lixar. O acabamento superficial foi bom, liso, e o lustre mediano é bastante uniforme. Em alguns casos, o aproveitamento era reduzido devido à presença de fendas nos troncos com inclusão de casca, que penetrava até a medula da árvore. A madeira de Bracatinga tem ganhado cada vez mais destaque pela sua beleza, lembrando a imbuia pela sua cor marrom escura.

3.6.2. Cumaru (*Dipteryx odorata*)

É encontrada com frequência no Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Mato Grosso e em outros países como Guianas, Venezuela, Colômbia, Bolívia, Peru e Suriname.

Por ser uma espécie de grande ocorrência em diversas regiões, adquiriu vários nomes. Também é conhecida como, camaru-ferro, cambaru, cambaru-ferro, champanha, cumaru-amarelo, cumaru-da-folha-grande, cumaru-

escuro, cumaru-ferro, cumaru-rosa, cumaru-roxo, cumaru-verdadeiro, cumbari, cumbaru-ferro, muirapagé.

O cerne tem alta resistência ao ataque de organismos xilófagos (fungos apodrecedores e cupins). Em ensaios de campo com estacas em contato com o solo, a espécie apresentou alta durabilidade aos organismos xilófagos e tem durabilidade superior a 12 anos de serviço em contato com o solo.

A madeira é dura (0,95-1,00 g/cm³) e resistente, sendo uma das melhores madeiras para dormentes, não apenas pela sua durabilidade, mas também pela sua grande resistência a fendas quando exposta ao sol (LOUREIRO et al., 1979). Indicada também para fabricação de pisos maciços, degraus de escada, mesas, móveis, decks de piscina. Conhecida também pelos seus frutos extremamente aromáticos e com uma elevada porcentagem de óleo, por essa razão é muito utilizada nas indústrias de perfumes, aromas, fragrâncias, medicina e tabaco (LORENZI, 1998).

A madeira de Cumaru é difícil de ser trabalhada, mas recebe excelente acabamento no torneamento. Acabamento ruim nos trabalhos de plaina e lixa, e é difícil de ser perfurada. Devido à natureza oleosa, a madeira apresenta dificuldade em ser colada. Mas aceita polimento, pintura, verniz e lustre.

É relativamente fácil de secar ao ar, com pequena tendência a rachar superficialmente, apresenta empenamento moderado. A secagem artificial é lenta, porém, praticamente isenta de defeitos (LOUREIRO et al., 1979).

3.6.3. *Eucalyptus sp.*

O eucalipto é originário da Austrália e da Indonésia, pertencente à família Myrtaceae. Existem mais de 720 espécies pertencentes ao gênero *Eucalyptus*. É um gênero de grande plasticidade e dispersão mundial, crescendo satisfatoriamente em grande amplitude edafoclimática, extrapolando as regiões de origem (BERNARDO et al., 1998). Dentre as principais espécies plantadas em todo o mundo para fins comerciais, estão o *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. saligna*, *E. camaldulensis*, *E. globulus*, *E. dunnii* e *E. nitens*.

As espécies do gênero *Eucalyptus* possuem alburno delgado e coloração clara. A cor do cerne varia de amarelado , até vários tons pardos avermelhados e vermelhos (ALFONSO, 1987). A madeira apresenta pouco brilho, grã direita a revessa e textura de fina a média, pode ser macia, mas também moderadamente dura ao corte, com cheiro e gosto indistintos. A densidade aparente das madeiras varia desde leve, média a bastante pesada, ou seja, valores variando de aproximadamente 0,4 a 1,2 g/cm³ (ALBUQUERQUE 1991). O gênero se caracteriza por uma constituição anatômica muito homogênea entre as espécies, sendo, portanto, de difícil identificação.

Em função da diversidade de espécies, quando se fala em durabilidade, existem todos os tipos de madeira, desde aquela madeira leve com baixa durabilidade, até aquelas aptas a utilizações estruturais e de relativa durabilidade, mesmo sem serem preservadas.

A possibilidade de uso da madeira de eucalipto para diversos fins tem estimulado a implantação de florestas de uso múltiplo. Dessa forma, muitos estudos estão sendo realizados para melhor se aproveitar o potencial econômico da floresta, destacando-se melhoramento de material genético e manejo silvicultural (teste de espaçamentos, idade de corte e técnicas silviculturais). De modo geral, com o uso múltiplo, pretende-se obter de uma área implantada variados tipos de produtos, ou seja, diferentes finalidades para uma mesma floresta (ANGELI, 2005).

No Brasil, a madeira de eucalipto é utilizada em diversos setores, indústria moveleira, construção civil, painéis, postes, escadas, esquadrias, molduras, assoalhos, revestimentos, celulose e papel, carvão vegetal, óleos essenciais, e com o grande número de pesquisas envolvendo este gênero a tendência é que novos usos venham surgindo a cada dia.

Entre as centenas de espécies e híbridos existentes, *Eucalyptus grandis* é uma das espécies de maior importância comercial, utilizada como base principal em vários programas de melhoramento genético ao redor do mundo, principalmente por suas características de rápido crescimento e alta densidade de madeira (NEILSON, 2000; FAO 2003). Tem uma excelente trabalhabilidade

para serraria, no entanto, requer o uso de técnicas apropriadas de desdobro para minimizar os efeitos das tensões de crescimento. Apresenta boas características de aplainamento, lixamento, torneamento, furação e acabamento.

Em geral, as madeiras de espécies de eucalipto são difíceis de secar, podendo ocorrer defeitos como colapso, empenamentos e rachas. A secagem em estufa deve ser feita de acordo com programas suaves, combinando, por exemplo, baixas temperaturas com altas umidades relativas. É recomendável a secagem ao ar, ou o uso de pré-secador, antes da secagem em estufa.

Na construção civil, é usado em ripas e partes secundárias de estruturas, cordões, guarnições, rodapés, forros e lambris, pontaletes e andaimes. Além da construção civil, é usado para móveis e, também, partes internas de móveis, laminados compensados, embalagens, paletes, produção de papel e celulose.

3.6.4. Peroba mica (*Aspidosperma populifolium*)

A espécie *Aspidosperma populifolium* pertence à família Apocynaceae e distribui-se naturalmente na região amazônica e no Centro-Oeste do Brasil, nos estados do Amazonas, Pará, Rondônia e Mato Grosso. Ocorre principalmente nas Florestas Ombrófilas Densas e Abertas, Submontanas e dificilmente ultrapassa 30 m de altura, podendo alcançar até 75 cm de diâmetro. Apresenta fuste alto e muito cilíndrico, com a copa geralmente concentrada no ápice da árvore.

A madeira é densa ($\rho_{ap,12\%} \cong 0,73 \text{ g / cm}^3$), com cerne marrom-acastanhado claro, com veios mais escuros, sendo pouco distinto do alburno, que geralmente é mais claro. Escurece em exposição o ar, é lisa ao tato e recebe acabamento opaco a pouco lustroso.

Sua textura é fina, a grã é ondulada, o cheiro é indistinto e o gosto é amargo. É resistente ao ataque de fungos e xilófagos. Floresce de agosto a setembro e frutifica de novembro a dezembro. Sua madeira é muito utilizada na construção civil, como vigas, caibros e ripas para pisos, e na indústria de

carpete de madeira, como lâmina de capa, na fabricação de móveis de qualidade superior, em acabamento de interiores e para fabricação de portas e batentes.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nos Laboratórios de Painéis e Energia da Madeira (Lapem), Celulose e Papel (LCP) e Propriedades da Madeira (LPM), da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

4.1. Espécies estudadas

Foram utilizadas cinco espécies listados no Quadro 1. As madeiras, Bracatinga, Cumaru, *Eucalyptus sp.* e Peroba mica foram doadas pela empresa Indusparket, localizada na cidade Tietê, São Paulo, fabricante nacional de pisos de madeira maciça. Estas madeiras foram sugeridas para o trabalho, devido à sua importância na fabricação dos pisos da empresa.

A quinta espécie, *Eucalyptus grandis*, foi adquirida de uma serraria na cidade de Viçosa-MG. A idade das espécies é desconhecida.

QUADRO 1 - Relação das espécies e gêneros pesquisados

NOME COMUM	NOME CIENTÍFICO	FAMÍLIA
Bracatinga	<i>Mimosa scabrella</i> Bentham	<i>Mimosaceae</i> (<i>Leguminosae: Mimosoideae</i>)
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	Fabaceae (<i>Leguminosae</i>)

<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden	Myrtaceae
<i>Eucalyptus. sp</i>	<i>Eucalyptus sp.</i>	Myrtaceae
Peroba mica	<i>Aspidosperma populifolium</i> A. DC	Apocynaceae

4.2. Preparação da madeira para o tratamento térmico

As madeiras foram recebidas no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (Lapem), em forma de tábuas e pranchas. As madeiras de espécies nativas tinham comprimentos, espessuras e larguras variadas, enquanto os eucalyptus tinham formas mais homogêneas.

Esse material foi entabicado, para secar no do galpão do Lapem, de forma que as pilhas ficassem separadas por espécies, espessura e comprimento das madeiras.

Após o entabicação, foi determinado o teor de umidade inicial, constatando-se uma diferença entre as peças de 20 a 40 %. Os maiores teores de umidades encontrados foram na madeira de Bracatinga. As madeiras permaneceram no galpão do laboratório por um período de 3 a 4 meses, até atingirem umidades entre 12 e 15 %. Após esse período, as tábuas foram cortadas em peças de 60 x 7,5 x 2 cm (comprimento, largura e espessura), exceto o Cumaru, uma vez que este veio da indústria com largura de 6 cm. Por isso, as madeiras de Cumaru foram cortadas com 60 cm de comprimento, 5 cm de largura e 2 cm de espessura. As tábuas que apresentavam defeitos, tais como rachaduras, nós, empenamentos, ataques de insetos, manchas etc. foram descartadas. Após o corte, as madeiras foram entabicadas novamente por um mês e, posteriormente, termorretificadas.

A termorretificação foi realizada durante uma hora, empregando uma prensa hidráulica ou uma estufa com capacidade de vácuo e pressão. Antecedendo cada tratamento térmico, as amostras foram pesadas e medidas (largura, comprimento e espessura), para futuro cálculo de perda de massa. A prensa hidráulica é dotada de pratos, medindo 60 x 60 cm, aquecidos por

resistência elétrica, permitindo o tratamento simultâneo de sete amostras. A pressão utilizada foi mínima e suficiente para que as madeiras não empenassem.

As temperaturas utilizadas foram de 180, 200 e 220 °C. O tempo de prensagem foi de uma hora para cada temperatura, cronometrado a partir do momento em que a temperatura atingia o patamar estabelecido para o tratamento.

Os demais tratamentos térmicos foram executados em uma estufa especial (Figura 3), com controle de temperatura, pressão e vácuo.

A câmara da estufa de formato cilíndrico continha uma plataforma de apoio, sobre a qual as amostras foram entabicadas, e para evitar empenamento das madeiras, fixadas entre suportes de ferro (Figura 4).

Após a prensagem, a madeira era retirada da prensa e acondicionada em sala climatizada para o seu resfriamento até a temperatura de ± 25 °C.

Posteriormente ao resfriamento, as peças foram pesadas e medidas novamente e em seguida foram entabicadas ao ar livre, até atingirem umidade de equilíbrio higroscópico.



FIGURA 3 – Estufa contendo as amostras a serem termorretificadas.



FIGURA 4 - Entablicamento e sistema para fixação das madeiras a serem termorretificadas na estufa.

Os tratamentos térmicos na estufa foram realizados sob vácuo ou sob pressão. Neste caso, a câmara inicialmente era evacuada e posteriormente preenchida com nitrogênio até uma pressão mínima.

Seguindo o mesmo padrão dos tratamentos térmicos realizados na prensa, antecedendo cada tratamento térmico, as amostras foram pesadas e medidos a largura, o comprimento e a espessura, para futuro cálculo de perda de massa.

As temperaturas utilizadas foram de 180, 200 e 220 °C durante uma hora. Atingida a temperatura desejada, as madeiras entabizadas foram colocadas na estufa e o sistema de vácuo, ligado. Após o tratamento, as madeiras foram retiradas e levadas para uma sala climatizada onde permaneceram até seu resfriamento de ± 25 °C. Uma vez resfriados, as amostras foram novamente pesadas e medidas suas dimensões. As madeiras foram então entabizadas ao ar livre, onde permaneceram até atingir a umidade de equilíbrio higroscópico. Posteriormente, foram feitos os corpos de prova para proceder aos ensaios físicos e mecânicos.

4.3. Propriedades avaliadas

Após a termorreificação, foram determinadas a umidade, massa específica, retratibilidade (tangencial, radial e axial) e o coeficiente de anisotropia, seguindo os procedimentos estabelecidos na norma NBR-7190 (1997) da ABNT.

Os valores de dureza Janka foram determinados segundo a metodologia preconizada pela NBR 7190 (ABNT, 1997) para esses ensaios.

A resistência a flexão estática foi determinada conforme estabelecido pela norma do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1956), Métodos de ensaios adotados no IPT para os estudos de madeiras nacionais. Optou-se por esta norma, porque a espessura da madeira não permitia preparar corpos de prova nas dimensões especificadas na norma NBR 7190 (1997).

4.4. Condução experimental e Análises estatísticas

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado, em um esquema fatorial incompleto, sendo 3 métodos de tratamento térmico, 4 temperaturas, 5 espécies, 3 repetições, 7 amostras/repetição, totalizando 945 tábuas tratadas e 315 testemunhas.

Observando-se diferenças significativas, as médias foram comparadas empregando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os efeitos dos tratamentos foram avaliados com auxílio de análise de variância.

As análises estatísticas foram feitas no software SAEG, através de planilhas do Excel.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Propriedades físicas

5.1.1. Umidade de Equilíbrio higroscópico

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios de umidade de equilíbrio higroscópico da madeira das diferentes espécies tratadas termicamente, bem como das testemunhas.

A análise de variância indicou que a umidade de equilíbrio higroscópico da madeira das diferentes espécies foi afetada pelos tratamentos, ocorrendo interações significativas entre o método e a temperatura de tratamento térmico.

Verificou-se que a madeira não tratada termicamente apresentou significativamente a maior umidade de equilíbrio quando comparada com a madeira termorretrificada independentemente do método ou temperatura, evidenciando que os tratamentos térmicos reduzem a higroscopicidade da madeira. Essa redução da higroscopicidade com o aumento da temperatura era esperada, uma vez que foi observada por outros pesquisadores como Durlo (1991b), Kozlik (1976) e Oliveira e Tomaselli (1981). Para os três métodos analisados, verificou-se que, para as diferentes espécies tratadas termicamente, a menor umidade de equilíbrio higroscópico foi encontrado para

a temperatura de 220 °C, corroborando os resultados dos autores citados acima.

Segundo Mellado (2007), a transferência de calor traz como consequência a perda de umidade, com a água se movimentando do interior para a superfície da peça de madeira por meio de mecanismo de capilaridade e difusão, e da superfície da madeira para o ar, pela evaporação.

TABELA 1 - Médias de umidade de equilíbrio higroscópico (%) das madeiras de *Eucalyptus grandis*, Bracatinga, Peroba mica, *Eucalyptus sp.* e Cumaru em função do método e da temperatura de termorretificação.

Espécies	Temperatura (°C)	Métodos		
		Prensa	Estufa a vácuo	Estufa com N ₂
<i>Eucalyptus grandis</i>	Testemunha	15,54 Aa	15,54 Aa	15,54 Aa
	180	11,02 Ab	3,09 Cb	10,11 Bb
	200	10,56 Ab	2,55 Bb	10,09 Ab
	220	9,30 Ac	2,57 Bb	9,44 Ab
Bracatinga	Testemunha	15,49 Aa	15,49 Aa	15,49 Aa
	180	12,35 Bb	3,28 Cb	12,83 Ab
	200	11,94 Bb	2,77 Cc	12,59 Ab
	220	10,60 Bc	2,74 Cc	11,67 Ac
Peroba mica	Testemunha	14,92 Aa	14,92 Aa	14,92 Aa
	180	10,83 Bb	2,12 Cb	11,49 Ab
	200	10,29 Bb	1,54 Cb	11,26 Ab
	220	9,43 Bc	1,24 Cc	10,27 Ac
<i>Eucalyptus sp</i>	Testemunha	16,70 Aa	16,70 Aa	16,70 Aa
	180	10,28 Bb	4,49 Cb	12,96 Ab
	200	9,45 Bc	3,33 Cc	12,73 Ab
	220	8,63 Bd	2,78 Cd	12,50 Ac
Cumaru	Testemunha	13,13 Aa	13,13 Aa	13,13 Aa
	180	8,09 Bb	1,40 Cb	10,11 Ab
	200	7,73 Bb	1,50 Cb	10,09 Ab
	220	6,47 Bb	1,35 Cb	9,44 Ab

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas, para a mesma espécie, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Esta redução da higroscopicidade depende de vários fatores, como a espécie, porcentagem de lignina, celulose e hemiceluloses (principalmente), quantidade de extrativos e tratamento térmico e químico dados à madeira (MODES, 2010). Segundo Boonstra e Tjeerdsma (2006), a diminuição da umidade de equilíbrio deve-se à menor quantidade de água absorvida pelas paredes da célula em consequência da mudança química com uma diminuição de grupos hidroxílicos, mas também devido à diminuição da acessibilidade por aumento da cristalinidade da celulose e aumento das ligações cruzadas na lignina.

Neste trabalho, a redução da higroscopicidade pode ser resultado de modificações químicas, em especial a degradação parcial das hemiceluloses. No tratamento térmico, segundo Poncsak et al. (2006), ocorre uma redução no número de grupos OH hidrofílicos, que são substituídos por grupos hidrofóbicos O-acetil. Esses grupos são formados pela degradação da hemicelulose e liberados da madeira na forma de ácido acético (SUNDIQUIST, 2004).

Foi observado que a termorreificação reduziu a higroscopicidade da madeira de todas as espécies, contudo a umidade de equilíbrio higroscópico das madeiras aquecidas na estufa com nitrogênio foi maior que o método da prensa. Por sua vez, a maior redução ocorrida na higroscopicidade foi para o método da estufa a vácuo sem nitrogênio.

Analisando os métodos, Tabela 1, observa-se que a madeira termicamente tratada na da estufa a vácuo sem nitrogênio apresentou a menor umidade de equilíbrio higroscópico para todas as espécies, sendo significativamente diferente dos demais métodos, independentemente da temperatura. Em média, para esse tratamento, a redução na higroscopicidade foi de 75%, para todas as espécies. O aquecimento na prensa e na estufa com nitrogênio em geral produziu resultados similares, não se diferenciando significativamente entre si.

Comparando-se o efeito dos tratamentos em estufa, nota-se que ambos apresentaram menores valores de equilíbrio higroscópico para as temperaturas

de 220 °C. No entanto, para a madeira de *Eucalyptus grandis* e Cumaru, o aumento de temperatura nos tratamentos em estufa não alterou significativamente a umidade de equilíbrio higroscópico. Quando analisadas as espécies Bracatinga, Peroba mica e *Eucalyptus*, foi observada uma pequena diferença entre as temperaturas dentro de cada método.

5.1.2. Densidade básica

A análise de variância indicou que a densidade básica da madeira das diferentes espécies foi afetada pelos tratamentos, ocorrendo efeito isolado do método e da temperatura de tratamento térmico, exceto para a Bracatinga. Já para o *Eucalyptus sp.*, a análise de variância indicou que a densidade básica da madeira foi afetada pelos tratamentos, ocorrendo interação significativa entre o método e a temperatura de tratamento térmico. Nas Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6, são apresentados os valores médios da densidade básica da madeira das diferentes espécies tratadas termicamente em função das temperaturas.

TABELA 2 – Efeito da temperatura na densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* em função da temperatura de termorretificação

Temperatura °C	Densidade (g/cm ³)
Testemunha	0,52 a
180	0,52 a
200	0,52 a
220	0,48 b

Médias ao longo da coluna seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores de densidade básica encontrados neste trabalho para o *Eucalyptus grandis* variaram de 0,48 g/cm³ a 0,52 g/cm³, esta variação está de acordo a literatura, que cita densidades variando entre 0,45 e 0,55 g/cm³ (FOELKEL,1978; HASELEIN et. al., 2000; LATORRACA e ALBUQUERQUE, 2002; OLIVEIRA e TOMASELLI,1981).

Observa-se na Tabela 2 que apenas a densidade da madeira tratada a 220 °C foi significativamente afetada pela temperatura, sendo menor do que a

densidade da testemunha e dos demais tratamentos. Esta redução de densidade pode ter sido ocasionada pela perda de massa, decorrente da degradação de seus constituintes químicos, sobretudo as hemiceluloses que são menos estáveis termicamente e se degradam mais rapidamente em comparação com os outros constituintes primários (celulose e lignina). Conforme relatado por Guedira (1998), Volvelle e Mellottee (1982), Pincelli et al. (2002), Dulchez e Guyonnet (2002), estas temperaturas estariam entre 100 e 250 °C.

Analisando o efeito da temperatura na densidade da madeira de Peroba mica, observou-se que não houve aumento significativo na densidade da madeira que foi aquecida a 200 °C.

TABELA 3 - Valores médios de densidade básica da madeira de Peroba mica em função da temperatura de termorretificação.

Temperatura °C	Densidade (g/cm ³)
Testemunha	0,61 b
180	0,62 ab
200	0,63 ab
220	0,62 ab

Médias ao longo da coluna seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Este resultado não está de acordo com a literatura, já que é um consenso entre os pesquisadores que em temperaturas maiores a tendência da densidade é diminuir. Contudo, isto pode ser explicado pela heterogeneidade da madeira, tendo em vista que a densidade é uma propriedade que está associada a vários fatores. Diante de tantas variáveis para o cálculo da massa específica, Tomazello Filho (1994) e Garcia (1995) consideram uma característica complexa, considerando-se que é o resultado de diferentes porcentagens de diversos tipos de células que, por sua vez, variam em diâmetro, espessura de parede e comprimento, contendo teores variáveis de extrativos.

Para a madeira de Cumaru, Tabela 4, a densidade básica observada na madeira aquecida na prensa apresentou menor valor, porém não diferiu

daquela observada na estufa com nitrogênio. Este resultado pode estar ligado à volatilização dos extrativos, uma vez que foi observado no tratamento da prensa e da estufa com nitrogênio uma quantidade maior de extrativos que migraram para superfície da madeira sob todas as temperaturas.

Na estufa a vácuo, a quantidade de extrativos que se deslocou para a superfície foi visivelmente inferior aos outros métodos. Estes resultados corroboram aqueles encontrados por Nuopponem (2003), que observou que muito extrativos, especialmente as ceras e as gorduras de baixa massa molecular, migraram para a superfície quando as amostras foram submetidas a tratamentos térmicos entre 100 e 160 °C e evaporaram completamente quando submetidos a tratamentos em 180 °C. No entanto, este mesmo autor cita que, para tratamentos térmicos acima de 200 °C, nenhuma resina foi detectada na superfície da madeira ou no seu interior, contrariando os resultados encontrados neste trabalho, em que foi notada a presença de extrativos na superfície da madeira aquecida acima de 200 °C. Esta diferença de resultados pode ter sido provocada pelo tempo que a madeira ficou exposta ao tratamento térmico, pois o autor citado acima usou um tempo maior do que a autora deste trabalho.

TABELA 4 - Médias de densidade básica da madeira de Cumaru em função do método de termorretificação

Métodos	Densidade (g/cm³)
Prensa	0,87 b
Estufa a vácuo	0,90 a
Estufa com N ₂	0,89 ab

Médias ao longo da coluna seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Aumento na temperatura de termorretificação não produziu efeito significativo na densidade, mesmo quando comparada com a testemunha (0,90 g/cm³). Contudo, nota-se que em geral houve uma tendência em diminuir a densidade com o aumento da temperatura. A madeira de Cumaru apresenta uma quantidade expressiva de extrativos, o que pode explicar esse comportamento, uma vez que a diminuição da densidade está também

relacionada quando presente a evaporação de extrativos durante o tratamento térmico (BOONTRA et al., 2007).

São apresentados na Tabela 5 as médias da densidade básica da madeira de *Eucalyptus sp.* em função dos métodos e temperaturas.

TABELA 5 - Médias de densidade básica (g/cm^3) da madeira de *Eucalyptus sp.* em função do método e da temperatura de termorretificação

Temperatura °C	Métodos		
	Prensa	Estufa a vácuo	Estufa com N ₂
Testemunha	0,63 Aa	0,63 Ab	0,63 Aa
180	0,61 Aab	0,62 Ab	0,59 Ab
200	0,60 Bb	0,66 Aa	0,61 Bab
220	0,60 Ab	0,62 Ab	0,62 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas para o método e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas para a temperatura não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Verificou-se que a madeira não tratada apresentou em geral, de modo significativo, maior densidade quando comparada com os diferentes métodos e temperatura. Esta diminuição era esperada, pois, conforme explicado anteriormente, quando a madeira é aquecida a temperaturas elevadas, pode ocorrer uma alteração no valor da densidade, independentemente da espécie estudada, devido a reações que ocorrem na madeira.

De um modo geral, não houve efeito dos métodos na densidade, exceto para a densidade da madeira termorretificada na estufa a vácuo na temperatura de 200 °C, que foi maior do que a densidade da madeira termorretificada na prensa e estufa com nitrogênio. É possível que essa diferença seja elucidada pela própria característica da madeira (genótipo, idade etc.), como já citado. Sendo a densidade uma das principais propriedades tecnológicas da madeira e estando diretamente ligada a outras propriedades da madeira, esta estabilidade da densidade é desejável, porque não afetará de forma negativa as demais propriedades que estão ligadas a ela.

5.1.3. Retratibilidade da madeira

Os valores médios das retrações da madeira de *Eucalyptus grandis* tratada termicamente são apresentados na Tabela 6.

TABELA 6- Médias de retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* em função do método e da temperatura de termoretificação

Espécie	Método	Temperatura (°C)	Retração axial (%)	Retração radial (%)	Retração tangencial (%)	Retração volumétrica (%)	Coefficiente de anisotropia (adm) ¹
<i>Eucalyptus grandis</i>	Prensa	Testemunha	0,32	6,44	6,60	13,00	1,10
		180	0,21	6,11	6,89	12,76	1,15
		200	0,35	5,47	6,91	12,53	1,27
		220	0,20	5,48	5,99	11,31	1,12
	Estufa à vácuo	Testemunha	0,32	6,44	6,60	13,00	1,10
		180	0,36	7,27	7,29	14,34	1,04
		200	0,43	7,08	7,78	14,67	1,13
		220	0,32	7,22	6,87	13,79	0,98
	Estufa com nitrogênio	Testemunha	0,32	6,44	6,60	13,00	1,10
		180	0,32	7,72	7,49	14,81	1,01
		200	0,51	6,67	7,43	14,04	1,13
		220	0,38	6,96	7,04	13,83	0,96

¹Adm.= adimensional

Pode-se observar que a retratibilidade tangencial foi maior que a radial, enquanto a retração axial é menor que as demais. Esta ordem está de acordo com os valores encontrados por Oliveira (1997), Pinto (2005) e Silva (2002) e, segundo Passhin e De Zeeuw (1980), para todas as madeiras.

Estudando a retratibilidade do *Eucalyptus grandis*, Silva (2002), encontrou valores de 6,7 % (retração radial), 9,4% (retração tangencial), 16,5% (retração volumétrica total) e 1,73 (coeficiente de anisotropia). Por outro lado, Oliveira (1997) e Pinto (2005) encontraram valores de 7,35 e 4,7 % (contração radial), 7,62 e 9,1 % (contração tangencial), 17,31 e 13,6 % (contração volumétrica), 1,10 e 2,0 (coeficiente de anisotropia), respectivamente. Essas diferenças nas contrações entre os resultados encontrados neste trabalho e em outros podem ser ocasionadas pela constituição anatômica da madeira, proporções de fibras, parênquima, ângulo microfibrilar, ou mesmo pela constituição química da madeira, além disso, essas propriedades são afetadas pela idade da árvore (LOVATTI, 2008).

A análise de variância indicou que a retratibilidade radial, tangencial e volumétrica da madeira de *Eucalyptus grandis* foi afetada, Tabelas 7 e 8, pelo método e pela temperatura de tratamento térmico. Além disso, observou-se interação significativa entre métodos e temperatura na contração volumétrica.

TABELA 7 - Médias da retração radial, tangencial e coeficiente de anisotropia da madeira de *Eucalyptus grandis* em função do método de termorretificação

Métodos	Retração radial (%)	Retração tangencial (%)	Coeficiente de anisotropia (adm) ¹
Prensa	5,87 b	6,59 b	1.15 a
Estufa a vácuo	7,00 ab	7,13 a	1.06 ab
Estufa com N ₂	7,51 a	7,14 a	1.04 b

Médias ao longo da coluna seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade
¹adm=adimensional

As menores retrações no plano radial, tangencial ou volumétrica foram observadas nas madeiras aquecidas na prensa (Tabelas 8 e 9). Não houve diferença significativa entre as contrações radial, tangencial e volumétrica para os tratamentos realizados na estufa com vácuo ou na presença de nitrogênio. Foi também inferior ao observado na testemunha (6,44 %). Por outro lado, a retração radial, embora tenha sido numericamente inferior na prensa, quando comparada com a estufa a vácuo, a diferença não foi significativa. No entanto, os métodos da estufa, apesar de apresentarem valores de contrações radiais e tangenciais maiores, apresentam um coeficiente de anisotropia menor do que as madeiras aquecidas na prensa, e um valor muito próximo de um, que é o desejado na fabricação de móveis, esquadrias, barcos, instrumentos musicais, aparelhos de esporte, assoalhos entre outros. Segundo USDA (1974), esses efeitos combinados da retração tangencial e radial ocasionam mudanças na forma das peças de madeira por causa das diferenças nas retrações e na curvatura dos anéis de crescimento. Desse modo, a retração e a deformação variam conforme a posição radial de onde a peça de madeira foi retirada.

Observou-se que a retração volumétrica foi afetada pelos tratamentos, ocorrendo interação significativa entre o método e a temperatura de tratamento térmico. As médias desdobradas podem ser observadas na Tabela 8.

TABELA 8 - Médias da retração volumétrica total da madeira de *Eucalyptus grandis* em função do método e da temperatura de termorreificação

Temperatura °C	Métodos		
	Prensa	Estufa a vácuo	Estufa a vácuo com N ₂
Testemunha	13,00 Aa	13,00 Ab	13,00 Ab
180	12,76 Ba	14,34 Aa	14,81 Aa
200	12,53 Ba	14,67 Aa	14,04 Aa
220	11,31 Bb	13,79 Ab	13,83 Ab

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas para o método e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas para a temperatura não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os menores valores foram encontrados para o método da prensa, independentemente da temperatura, que foi significativamente diferente dos métodos da estufa. Observa-se, na Tabela 8, no método da prensa, que apenas a retração volumétrica da madeira tratada a 220 °C foi significativamente afetada pela temperatura, obtendo-se a menor retração quando comparada com a testemunha e os demais tratamentos. Quanto menor for a retração volumétrica, melhor é a madeira, uma vez que haverá menor movimentação dimensional. Madeira com retração volumétrica entre 12,33 e 19,33 % é considerada de média retração. Retração volumétrica acima de 19,4% é considerada alta, conforme o IPT (1985). Diante dos resultados encontrados neste trabalho para as contrações volumétricas advindas dos seus respectivos tratamentos térmicos, foi observado que a madeira não mudou de classe, apenas houve um aumento nestas contrações, exceto para o método da prensa a 220 °C, em que foi encontrado um valor de 11,31% que reclassificaria essa madeira como de baixa contração volumétrica.

Na Tabela 9, são apresentados os resultados do valor médio das contrações axiais, tangenciais, radiais, volumétricas e os coeficientes de anisotropia para o *Eucalyptus sp.*

TABELA 9- Médias de retratibilidade da madeira de *Eucalyptus sp.* em função do método e da temperatura de termorreificação

Espécie	Método	Temperatura (°C)	Retração axial (%)	Retração radial (%)	Retração tangencial (%)	Retração volumétrica (%)	Coefficiente de anisotropia (adm) ¹
<i>Eucalyptus sp</i>	Prensa	Testemunha	0,40	7,55	8,45	15,70	1,12
		180	0,12	5,86	6,55	12,15	1,27
		200	0,28	5,72	6,72	12,24	1,20
		220	0,25	5,49	5,41	10,77	1,04
	Estufa à vácuo	Testemunha	0,40	8,45	7,55	15,70	1,12
		180	0,32	7,13	7,70	14,56	1,14
		200	0,29	7,20	6,66	13,76	1,14
		220	0,27	6,90	7,68	14,29	1,16
	Estufa com nitrogênio	Testemunha	0,40	8,45	7,55	15,70	1,12
		180	0,45	6,92	7,50	14,38	1,11
		200	0,47	6,67	7,73	14,22	1,26
		220	0,38	7,05	7,70	14,01	1,13

¹Adm.= adimensional

As contrações médias radial, tangencial, e volumétricas foram, respectivamente, iguais a 8,45, 7,55 e 15,70 %. O coeficiente de anisotropia foi igual a 0,93. Esses valores estão próximos aos encontrados por Santos (2008), Carmo (1996), Moura et al. (2003) e ANPM (2006), assim como no *Eucalyptus grandis* foi observado uma diminuição dos valores de contrações com o aumento da temperatura, independentemente do método. Os valores encontrados para as madeiras termicamente tratadas não foram significativos, no entanto, foram todos inferiores aos da testemunha, comprovando a influência do tratamento térmico na redução da estabilidade dimensional.

Quando comparados os métodos entre si, não foram observadas diferenças significativas, no entanto, observa-se que para a termorreificação na prensa, em média todas as contrações foram menores que os demais métodos.

Nota-se que para a temperatura de 220 °C, foi encontrado o menor valor para todas as contrações.

Os valores médios das retrações da madeira de Bracatinga são apresentados na Tabela 10 e são similares aos encontrados por Costa et al. (2001) e IPT (1956).

Verificou-se pela análise de variância que apenas a retração axial foi afetada pela temperatura. As demais médias não diferiram significativamente entre si e não foram observadas interações significativas.

TABELA 10- Médias para retratibilidade da madeira de Bracatinga em função do método e da temperatura de termorreificação

Espécie	Método	Temperatura (°C)	Retração axial (%)	Retração radial (%)	Retração tangencial (%)	Retração volumétrica (%)	Coefficiente de anisotropia (adm) ¹
Bracatinga	Prensa	Testemunha	0,51	6,47	8,11	14,49	1,37
		180	0,29	7,30	7,16	14,01	1,12
		200	0,49	6,78	7,62	14,19	1,26
		220	0,24	6,79	7,49	13,76	1,15
	Estufa à vácuo	Testemunha	0,51	6,47	8,11	14,49	1,37
		180	0,38	6,84	7,94	14,58	1,32
		200	0,32	6,92	8,13	14,80	1,34
		220	0,31	7,23	7,86	14,81	1,23
	Estufa com nitrogênio	Testemunha	0,51	6,47	8,11	14,49	1,37
		180	0,25	6,22	9,01	14,92	1,61
		200	0,35	7,74	6,87	14,41	1,00
		220	0,21	6,45	7,44	13,98	1,06

¹Adm.= adimensional

Apesar de as diferenças não terem sido significativas em relação à retração radial e tangencial, observa-se que, de um modo geral, independentemente do método, o aumento da temperatura aumentou a estabilidade. Esses resultados corroboram os de outros autores como Brito et al. (2006), que observaram que o aumento da temperatura interfere de forma positiva reduzindo as contrações da madeira. Talvez se o tempo de aquecimento tivesse sido estendido, o efeito sobre a retração poderia ter sido significativo.

A retração volumétrica também diminuiu com o aumento da temperatura para os tratamentos realizados na prensa e na estufa com nitrogênio. Isto não foi observado na estufa a vácuo, em que os valores aumentaram com o aumento da temperatura. Quando comparado com o valor original, nota-se que, independentemente do método ou da temperatura, as contrações volumétricas foram de modo geral menores que a testemunha, evidenciando que o tratamento térmico torna a madeira dimensionalmente mais estável. Essa

menor retratibilidade ocorre devido à redução dos sítios de sorção da madeira, sobretudo das hidroxilas (BRITO et al., 2006; GOHAR e GUYONNET, 1998).

O aumento na temperatura, independentemente do método de termorretrificação, ocasionou redução no coeficiente de anisotropia. Nota-se que todos os valores foram menores que a madeira não tratada (1,37 testemunha). Os coeficientes de anisotropia para a Bracatinga observados foram inferiores aos encontrados na literatura. Diversos autores consideram a madeira de Bracatinga de alta contração (MORESCHI, 1997; GALVÃO e JANKOWSKI, 1985). Essa alta contração pode limitar o uso da madeira. Com os valores observados neste trabalho, a madeira de Bracatinga passa de uma madeira de qualidade normal para uma classificação de excelente, ampliando sua utilização. Portanto, o tratamento térmico melhorou a estabilidade desta madeira.

A Tabela 11 apresenta os valores médios de retratibilidade da madeira de Peroba mica.

Comparando os valores de estabilidade da madeira obtidos neste trabalho com alguns encontrados na literatura, observam-se algumas discrepâncias, confirmando a variabilidade de retrações existentes em uma mesma espécie e, até mesmo, em uma mesma árvore, relatadas por Desch e Dinwoodie (1981) e por Simpson (1991).

Langsdon (2007) e Lovatti (2008) encontraram valores, respectivamente, entre 3,63 e 6,24 % (retração radial), 6,85 e 9,41 % (retração tangencial), 10,36 e 16,59 % (retração volumétrica) e 1,98 e 1,51 (coeficiente de anisotropia) para a madeira de Peroba mica.

Os valores médios encontrados para as retrações não foram significativamente diferentes entre si, mas, no geral, foram observadas algumas reduções nas médias.

TABELA 11- Médias de retratibilidade da madeira de Peroba mica em função do método e da temperatura de termorreificação

Espécie	Método	Temperatura (°C)	Retração axial (%)	Retração radial (%)	Retração tangencial (%)	Retração volumétrica (%)	Coefficiente de anisotropia (adm) ¹
Peroba mica	Prensa	Testemunha	0,40 a	5,65	5,98	11,66	1,16
		180	0,27 ab	5,81	7,54	13,12	1,36
		200	0,24 ab	5,78	5,48	11,18	1,10
		220	0,16 b	5,36	5,46	10,68	1,05
	Estufa à vácuo	Testemunha	0,40	5,65	5,98	11,66	1,16
		180	0,26	6,15	6,31	12,28	1,08
		200	0,28	5,46	6,06	13,37	1,43
		220	0,20	5,37	6,23	11,52	1,23
	Estufa com nitrogênio	Testemunha	0,40	5,65	5,98	11,66	1,16
		180	0,22	4,22	6,37	10,52	1,64
		200	0,21	5,34	5,71	10,80	1,21
		220	0,19	5,25	6,51	11,58	1,31

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas para a temperatura não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

¹Adm.= adimensional ;

Observa-se, na Tabela 11, que a retração radial e a tangencial das madeiras termorreificadas foram, em geral, menores que a testemunha (5,65 e 5,98% respectivamente), porém não diferiram significativamente. Essas retrações em geral diminuíram com o aumento da temperatura, exceto para temperatura 180 °C, na qual foram observados valores maiores que a testemunha. Esse resultado não vai de encontro àqueles encontrados na literatura, uma vez que um menor valor de retração era esperado com o aumento da temperatura. No entanto, esse aumento pode ter sido provocado por diferentes níveis de transformação na madeira, que estariam associados a vários fatores, até mesmo à modificação das estruturas químicas dos principais constituintes e não somente à sua degradação (BRITO, 1992). Segundo Vovelle e Mellotte (1982), estas temperaturas provocam alterações e novos arranjos nas ligações químicas estruturais e podem afetar negativamente as propriedades da madeira tratada termicamente.

Apenas a retração axial da madeira aquecida na prensa foi afetada pela temperatura de termorreificação. Para as contrações volumétricas também foram observadas algumas reduções nos valores em função do aumento da temperatura. No entanto, para a temperatura de 180°C, foi observado um

aumento na contração volumétrica em relação à testemunha, contrariando o resultado esperado.

Diante dos resultados expostos na Tabela 11, notou-se que o tratamento térmico melhorou a estabilidade dimensional da madeira, mesmo não se obtendo valores significativos estatisticamente dos tratamentos térmicos em relação à testemunha.

Na Tabela 12 são apresentadas as médias das contrações e coeficiente de anisotropia da madeira de Cumaru.

Na literatura, a média para a madeira de Cumaru foi igual a 5,4 % para retração radial, 8,4% para retração tangencial, 12% para retração volumétrica e coeficiente de anisotropia 1,55 (IBAMA, 1997; INSTITUTO, 1988; INSTITUTO, 1981; Souza *et al.*,1997). Verifica-se que os valores médios obtidos neste trabalho foram menores que os observados na literatura, tanto para as madeiras termorretificadas quanto para a testemunha.

TABELA 12 - Médias de retratibilidade da madeira de Cumaru em função do método e da temperatura de termorretificação

Espécie	Método	Temperatura (°C)	Retração axial (%)	Retração radial (%)	Retração tangencial (%)	Retração volumétrica (%)	Coeficiente de anisotropia (adm) ¹
Cumaru	Prensa	Testemunha	0,18	4,40	6,08	10,18	1,48
		180	0,69	4,90	5,26	9,84	1,00
		200	0,21	5,03	5,00	9,75	1,08
		220	0,10	4,86	8,82	10,18	2,04
	Estufa à vácuo	Testemunha	0,18	4,40	6,08	10,18	1,48
		180	0,20	4,19	4,03	8,19	1,00
		200	0,27	4,63	5,06	9,63	1,18
		220	0,18	4,38	5,16	9,44	1,19
	Estufa com nitrogênio	Testemunha	0,18	4,40	6,08	10,18	1,48
		180	0,20	4,87	4,99	9,79	1,09
		200	0,24	4,36	4,75	9,07	1,00
		220	0,15	4,06	5,20	9,16	1,36

¹ adm = adimensional.

Avaliando a retração radial do Cumaru, observou-se que para a madeira termorretificada na prensa as retrações foram maiores que as da madeira original, para todas as temperaturas. Entretanto, para a termorretificação na estufa, observou-se que as contrações radiais foram decrescendo com o

aumento da temperatura, sendo os menores valores encontrados para a estufa com nitrogênio.

De modo geral, a retração tangencial das madeiras termorretificadas foram inferiores à da madeira original, exceto para aquelas aquecidas na prensa na temperatura de 220 °C, cujo valor encontrado foi bem superior à testemunha.

A retração volumétrica e o coeficiente de anisotropia não seguiram uma tendência em relação ao aumento da temperatura, no entanto, todos os valores encontrados foram inferiores ao da testemunha.

Durante o tratamento térmico, foi observado na prensa com o aumento da temperatura uma maior migração dos extrativos para a superfície, causando um escurecimento na madeira e a formação de uma goma ou resina superficial. Isto foi observado principalmente nas madeiras com maior percentual de cerne. A migração de extrativos pode ter ocasionado aumento na contração tangencial, volumétrica e coeficiente de anisotropia para a temperatura de 220 °C. Segundo dados obtidos no trabalho de Nuopponen (2003), muitos extrativos, especialmente as ceras e as gorduras de baixo peso molecular, migraram para a superfície quando as amostras foram aquecidas entre 100 a 160°C e evaporaram completamente quando submetidos ao tratamento em 180°C. Para tratamentos térmicos acima de 200 °C, nenhuma resina foi detectada nem na superfície da madeira e nem no seu interior. Essa divergência pode ser explicada por dois motivos: os extrativos presentes na madeira de Cumaru são de alto peso molecular ou o tempo de tratamento térmico utilizado neste trabalho não foi suficiente para que ocorresse a volatilização.

Na estufa a vácuo e estufa com nitrogênio, não foram observados extrativos na superfície da madeira, exceto em alguns pontos. Manninen et al. (2002), do mesmo modo, estudando madeira tratada termicamente, observaram a presença de poucos compostos voláteis na câmara onde eram tratadas amostras de pinheiro escocês a 230 °C. Contrariamente, alguns autores descreveram a detecção de um maior índice de contaminação

atmosférica por ácido acético originado da madeira tratada termicamente (THERMOWOOD HANDBOOK, 2002).

5.2. Propriedades Mecânicas

5.2.1. Dureza Janka

Analisando o efeito dos tratamentos na dureza Janka na direção normal às fibras (Tabela 13), observou-se que os métodos afetaram de forma diferenciada a resistência das espécies.

A Bracatinga não sofreu nenhuma influência significativa na dureza Janka, como já observado na retração volumétrica e densidade citada anteriormente. A Bracatinga foi uma espécie que se mostrou bastante resistente ao tratamento térmico, não alterando suas características originais. Visualmente sua coloração também foi menos afetada, principalmente quando comparada às outras espécies, exceto para a termorreificação na prensa a 220 °C, em que ocorreu escurecimento bastante evidenciado.

Analisando a Tabela 13, observou-se que os valores médios da dureza Janka da madeira de *Eucalyptus grandis* aquecida na estufa a vácuo e estufa com nitrogênio foram maiores que os obtidos na testemunha. Segundo Quirino (2003), uma madeira de baixa densidade e macia adquire maior dureza superficial quando tratada termicamente em autoclave, tornando possível sua utilização em pisos, apesar de haver alteração na sua cor original.

A dureza Janka da madeira termorreificada na prensa diminuiu com o aumento da temperatura, sendo todos os valores inferiores à testemunha. Segundo FTA (2003), a dureza da madeira é altamente dependente da densidade. Assim, para todas as espécies, os resultados encontrados neste trabalho corroboram estes autores, uma vez que a termorreificação na prensa ocasionou os menores valores para densidade, influenciando diretamente na dureza Janka.

Os resultados observados mostraram que a termorretificação na prensa não é indicado para nenhuma madeira quando se objetiva aumentar sua dureza Janka.

TABELA 13 - Médias de dureza Janka (MPa) das madeiras de *Eucalyptus grandis*, Bracatinga, Peroba mica, *Eucalyptus sp.* e Cumaru em função do método e da temperatura de termorretificação

Espécies	Temperatura (°C)	Métodos		
		Prensa	Estufa a vácuo	Estufa com N ₂
<i>Eucalyptus grandis</i>	Testemunha	36,97	36,97	36,97
	180	35,63	41,97	40,29
	200	34,78	46,06	40,55
	220	32,04	43,35	40,27
Bracatinga	Testemunha	46,71	46,71	46,71
	180	53,32	42,76	47,97
	200	52,73	49,13	48,43
	220	49,13	48,67	44,67
Peroba mica	Testemunha	61,49	61,49	61,49
	180	71,98	66,69	58,94
	200	65,90	60,34	60,47
	220	62,66	59,58	62,21
<i>Eucalyptus sp</i>	Testemunha	62,70	62,70	62,70
	180	47,27	57,41	51,39
	200	41,09	62,07	52,20
	220	40,08	61,13	56,98
Cumaru	Testemunha	105,78	105,78	105,78
	180	94,41	123,56	114,12
	200	89,96	117,81	115,39
	220	81,82	115,59	114,08

Na Tabela 14 são apresentados os valores médios da dureza Janka em função do método de termorretificação.

Verificou-se efeito significativo da termorretificação na dureza Janka da prensa quando comparada com a estufa a vácuo e com a estufa com

nitrogênio. Porém, quando comparada com a testemunha (36,97 MPa), a termorreificação na prensa não apresentou diferença significativa.

TABELA 14 - Valores médios de dureza Janka da madeira de *Eucalyptus grandis* em função do método de termorreificação

Métodos	Dureza Janka (MPa)
Prensa	34,85 b
Estufa a vácuo	42,08 a
Estufa com N ₂	39,51 a

Médias ao longo da coluna seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Gunduz et al. (2009), estudando a dureza Janka da madeira termicamente tratada, observaram que com o aumento da temperatura e do tempo de duração do tratamento térmico, a dureza Janka diminuía. Contradizendo o autor, em 2003, pesquisadores da Finnish Thermowood Association (FTA), estudando esta propriedade, indicaram que ela aumenta em função do aumento da temperatura, tendo sido os estudos realizados até a temperatura de 240 °C. Os diferentes resultados encontrados pelos autores podem ser explicados por diversas razões, dentre as quais se destacam os diferentes métodos de tratamento térmico, tempo e temperatura de exposição da madeira ao tratamento e espécies com comportamentos diferentes, dentre outros.

A Tabela 15 mostra o efeito dos métodos de tratamento na dureza Janka na madeira de Peroba mica. Observa-se que a madeira desta espécie não foi afetada pela temperatura de tratamento, e sim pelos diferentes métodos, que se mostraram significativamente diferentes entre si.

TABELA 15- Valores médios de dureza Janka da madeira Peroba mica em função do método de termorreificação

Métodos	Dureza Janka (MPa)
Testemunha	61,49
Prensa	65,51 a
Estufa a vácuo	62,02 ab
Estufa com N ₂	60,77 b

Médias ao longo da coluna seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

As termorretificações na prensa e na estufa a vácuo resultaram em média maior dureza Janka. O menor valor observado foi na estufa com nitrogênio, que foi menor que o observado na madeira não tratada (61,49 MPa).

Avaliando o efeito da termorretificação na estufa com nitrogênio e sob vácuo na dureza da madeira de Peroba mica, verificou-se que as madeiras termorretificadas em atmosfera sem nitrogênio apresentaram maiores valores médios de dureza. Esse resultado pode ser explicado pelo meio deficiente em oxigênio, diminuindo as reações oxidativas que interferem nas propriedades da madeira. Ainda que a estufa com nitrogênio seja uma atmosfera isenta de oxigênio, foi observada pelo autor água condensada na parte inferior da estufa, podendo ter influenciado na dureza.

Segundo Sundqvist (2004), é possível aumentar ligeiramente a resistência e dureza da madeira em comparação com a madeira em condições normais dentro de certos domínios da relação tempo/temperatura. Segundo o mesmo autor, um aumento inicial na resistência e na dureza pode ser devido aos processos de condensação da lignina e celulose como moléculas degradadas, podendo formar novas ligações químicas.

Na Tabela 16 são apresentados os valores médios de dureza Janka das madeiras de *Eucalyptus sp.* e Cumaru. A análise de variância indicou que a dureza Janka destas madeiras foi afetada pelos tratamentos, ocorrendo interações significativas entre o método e a temperatura de tratamento térmico.

TABELA 16 - Valores médios de dureza Janka (MPa) das madeiras de *Eucalyptus sp.* e Cumaru em função do método e da temperatura de termorretificação

Espécies	Temperatura (°C)	Métodos		
		Prensa	Estufa a vácuo	Estufa com N ₂
<i>Eucalyptus</i> sp	Testemunha	62,70 Aa	62,70 Aa	62,70 Aa
	180	47,27 Bb	57,41 Aa	51,39 Ab
	200	41,09 Cc	62,07 Aa	52,20 Bb
	220	40,08 Bc	61,13 Aa	56,98 Aab
Cumaru	Testemunha	105,78 Aa	105,78 Ab	105,78 Ab
	180	94,41 Cb	123,56 Aa	114,12 Ba
	200	89,96 Bb	117,81 Aa	115,39 Aa
	220	81,82 Bc	115,59 Aab	114,08 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas para o método e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas para a temperatura não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 16 que a termorretificação na prensa resultou em valores menores de dureza Janka para ambas as espécies. Esses valores, quando comparados às suas respectivas testemunhas são menores, indicando efeito negativo sobre a resistência das duas madeiras. Verificou-se que a madeira termorretificada na prensa foi significativamente menor do que a dureza da madeira termorretificada na estufa a vácuo.

De um modo geral, para *Eucalyptus sp.* e Cumaru, a termorretificação na estufa a vácuo ou com nitrogênio não diferenciaram significativamente entre si, exceto para a temperatura de 180 °C para a madeira de Cumaru, tendo sido observado que o tratamento na estufa a vácuo foi na dureza Janka.

Para a madeira de *Eucalyptus sp.*, o tratamento térmico foi negativo para todos os métodos utilizados, uma vez que, independentemente da temperatura ou do método, todos os valores encontrados de dureza Janka foram inferiores ao valor encontrado para a madeira original. No entanto, nota-se que na termorretificação na estufa houve uma tendência em aumentar a dureza com o aumento da temperatura. Este resultado pode ser um indicativo de que se o tempo de tratamento tivesse sido superior, é provável que o valor da dureza fosse maior, corroborando autores como Poncsák et al. (2006), Nuopponen et al. (2005) e Tsoumis (1991), que observaram que quanto maior

a temperatura de termorreificação maior a dureza da madeira. Entretanto, esses valores dependem de diversos fatores, tais como a espécie a ser tratada, a quantidade dos principais constituintes da madeira, a taxa de aquecimento, o tempo de exposição da madeira no tratamento, levando a combinação de todos esses fatores a um novo produto.

Portanto, em acordo com os autores citados, observa-se neste trabalho que o método utilizado, aliado à temperatura, ao tempo de exposição da madeira e à espécie a ser tratada, é um fator determinante para a resposta da madeira ao tratamento térmico. O resultado pode ser positivo ou negativo dependendo das interações entre todos esses parâmetros.

Para a madeira de Cumaru, foi observado nos métodos da estufa a vácuo que a dureza Janka das madeiras termorreificadas foi significativamente maior que a testemunha. No entanto, foi observado, também, que com o aumento da temperatura de termorreificação as resistências tenderam a diminuir, mas foram sempre superiores à testemunha. Os maiores valores encontrados foram para a temperatura de 180 e 200°C, respectivamente, que, no entanto, não diferiram significativamente entre si. Esse resultado, possivelmente, foi devido à grande quantidade de extrativos na madeira de Cumaru, uma vez que aquecidos, esses extrativos se volatilizaram. Segundo Kalnins (1966) e Mazet (1988), os extrativos têm propriedades antioxidantes, inibindo algumas reações oxidativas, e essa propriedade dos extrativos aliada a um ambiente deficiente de ar ou inerte pode ter contribuído para o aumento significativo da dureza. Segundo Pettersen (1984), a presença de extrativos influencia a resistência ao ataque de fungos e insetos, a coloração, o odor, a permeabilidade, a densidade e a dureza da madeira.

Muitos autores relacionam a dureza Janka à densidade. Kolman e Cote (1968) observaram em diversas madeiras que a dureza é diretamente proporcional à densidade da madeira, no entanto, neste trabalho não se observou esta relação, uma vez que a densidade da madeira de Cumaru não foi afetada significativamente pelos tratamentos térmicos, contrariamente à dureza, que foi ligeiramente aumentada. Entretanto, Bessa et al. (1990)

revelam que diferentes espécies madeireiras, apresentando a mesma densidade, mostram valores diferentes em testes de dureza Janka.

Com relação ao aumento de algumas propriedades mecânicas verificadas na madeira, Sundqvist (2004) cita que parece possível aumentar ligeiramente a resistência e dureza da madeira em comparação com a madeira em condições normais dentro de certos domínios da relação tempo/temperatura. Segundo o mesmo autor, um aumento inicial na resistência e dureza pode ser devido aos processos de condensação da lignina e celulose como moléculas degradadas, podendo formar novas ligações químicas.

5.2.2. Resistência a flexão estática

Os valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática para a madeira de *Eucalyptus grandis* tratada termicamente, bem como as interações entre métodos e temperaturas, estão sumarizados na Tabela 17.

TABELA 17 - Valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática, para a madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis*

Temperatura (°C)	Métodos					
	Prensa		Estufa a vácuo		Estufa com N ₂	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Testemunha	76,44 Aa	7495,9 Aa	76,44 Ac	7495,9 Aa	76,44 Ac	7495,9 Ac
180	76,68 Ca	7517,0 Ba	84,87 Bb	7063,7 Ba	103,99 Ab	9635,1 Aa
200	77,10 Ca	7560,8 Ba	91,66 Ba	6971,4 Ba	101,38 Ab	9242,9 Ab
220	63,87 Cb	6263,8 Bb	85,93 Bb	6976,4 Ba	114,15 Aa	10.028,8 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas para o método e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas para a temperatura não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Observou-se que o MOR e MOE da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis* diferiram significativamente entre os métodos, no entanto, foram iguais para a termorretificação realizada na prensa e estufa a vácuo. Madeiras termorretificadas na presença de nitrogênio apresentaram os maiores valores de MOE.

Comparando o efeito do acréscimo da temperatura de termorretificação com a testemunha observa-se que as madeiras termorretificadas na prensa tiveram o MOR e MOE reduzidos significativamente apenas para a temperatura de 220 °C. Na estufa e na presença de nitrogênio, observou-se aumento significativo no MOR da madeira termorretificada quando comparado com a testemunha. O MOE também foi afetado, sendo, contudo, maior que o MOE da testemunha apenas na estufa com nitrogênio.

Para Yildiz et al. (2006), o aquecimento da madeira na presença de ar tende a promover reações de decomposição, sendo este efeito dependente da atmosfera circundante, especialmente com relação à presença ou ausência de oxigênio. Corroborando este autor, Stamm (1956) mostrou que a madeira aquecida em atmosfera com a presença de oxigênio é decomposta mais rapidamente do que a madeira aquecida em atmosfera, devido às reações de oxidação. Essa decomposição ocorre porque o tratamento térmico, quando executado num ambiente oxidante, libera ácido acético, que atua como um catalisador das reações de despolimerização (ESTEVES et al., 2008). Essa decomposição se reflete diretamente na densidade da madeira, resultando em perda direta da sua resistência.

Avaliando o efeito da temperatura na resistência, a ruptura obtida pela termorretificação na prensa, observou-se que não diferiram significativamente em relação à testemunha, exceto para a temperatura de 220 °C, quando se observou menor resistência.

A redução do módulo de ruptura pode ter sido ocasionado pelo aumento da friabilidade da madeira decorrente do tratamento térmico. O fato de a madeira tornar-se mais friável quando submetida ao tratamento térmico indica que ela fica mais quebradiça, com menor presença de fibras entre as partículas termotratadas, conforme observado por Arias et al. (2008).

Quando comparado os dois métodos de termorretificação na estufa, nota-se que, no geral, houve um aumento no módulo de ruptura em função do aumento da temperatura. Este aumento foi mais acentuado na estufa com nitrogênio, com ganho de 22%. Estes resultados não são compatíveis com os relatados por Mouras et al. (2002), que observaram perdas de 15 a 20 % no

MOR, para tratamentos a partir de 220 °C e 60 minutos e por Almeida (2007) com queda de 40% para os tratamentos entre 230 e 240 °C. Esta diferença entre os resultados encontrados pelos autores acima e os obtidos neste trabalho deve-se provavelmente à diferença de métodos empregados. Fica evidenciado que o meio deficiente em oxigênio ou com a presença de nitrogênio afeta de forma positiva a resistência (MOR) da madeira de *Eucalyptus grandis*.

O ganho no módulo de ruptura também pode ser explicado pela presença de vapor que se forma no interior da estufa a vácuo, criando mudanças químicas que resultam num material menos quebradiço e mais resistente. Vale ressaltar que durante o tratamento na presença nitrogênio observou-se maior quantidade de vapor e água formados no interior da estufa.

Os resultados observados para o módulo de elasticidade mostraram na estufa com nitrogênio madeiras com maior rigidez, diferindo dos demais, que foram iguais entre si.

Não foi observada perda de rigidez para as madeiras termorretificadas na prensa e estufa a vácuo, com o aumento da temperatura de termorretificação, exceto para as madeiras tratadas a 220 °C. Esteves et al. (2008), apesar de condições diferentes de tratamentos desta pesquisa, estudando o efeito da temperatura de 180°C por 2h sobre o MOE da madeira de *Pinus pinaster* Aiton em flexão estática, observaram uma redução de 2%; e , Santos (2000) verificou um aumento no módulo de elasticidade da madeira de eucalipto tratada a 180°C.

As madeiras termorretificadas na estufa a vácuo tiveram maior módulo de elasticidade em relação à testemunha. Estudando a madeira de *Picea abies* Karst, tratada na presença de vapor e pressão a 165°C por 30 min, seguido de tratamento de calor em condições secas e à pressão atmosférica a 180°C por 6 h, também encontrou um acréscimo no MOE da madeira tratada, mas em 5,21%, um pouco inferiores aos aqui registrados (BOONSTRA et al., 2007).

Na Tabela 18 são apresentados os valores médios de resistência à flexão estática para a espécie de Bracatinga. Nota-se que as resistências das madeiras termorretificadas na prensa e na estufa com nitrogênio foram

significativamente diferentes daquelas aquecidas na estufa a vácuo, tendo elas os menores valores médios de módulo de ruptura, inclusive em relação à testemunha.

TABELA 18 - Médias do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática, para a madeira termorretrificada de Bracatinga

Espécie	Temperatura (°C)	Métodos					
		Prensa		Estufa a vácuo		Estufa a vácuo com N ₂	
		MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Bracatinga	Testemunha	105,41 Ab	9437 Ab	105,41 Aa	9437 Aa	105,41 Ab	9437 Aa
	180	105,35 Ab	8917 Bc	87,94 Bc	6829 Cbc	108,71 Aab	9511 Aa
	200	108,64 Aab	8857 Ac	96,32 Bb	7006 Bb	107,30 Aab	9361 Aa
	220	111,89 Aa	10243 Aa	96,04 Bb	6425 Cc	113,56 Aa	9315 Ba

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas para a mesma propriedade e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas para a temperatura não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Para o aquecimento na prensa e na estufa com nitrogênio, foi observada uma tendência de aumento de resistência à ruptura com o aumento da temperatura. Os valores encontrados foram todos superiores àqueles da madeira não tratada, mesmo não diferindo entre si significativamente. Essa tendência de resultados semelhantes para métodos de atmosferas tão diferentes pode ser explicado, de acordo com Johansson (2008), pelas diferenças na decomposição dos componentes da madeira encontradas entre amostras tratadas em sistemas abertos e fechados. Isso ocorre porque haverá um acúmulo de produtos como o ácido acético em sistemas fechados, que podem então interagir com as reações químicas que estão ocorrendo. Para o mesmo autor, existem interações não apenas entre os componentes encontrados dentro da madeira, mas também interações entre a madeira e a atmosfera de tratamento. E essa diferença pode ser mais acentuada pelo tipo de espécie submetida ao tratamento térmico.

Verifica-se nas madeiras termorretrificadas de Bracatinga pelo método da estufa sem nitrogênio, um decréscimo no módulo de ruptura em função do aumento da temperatura, indicando uma perda de resistência mecânica. Este fato foi observado por outros autores já citados neste trabalho. Estudando o

efeito do tratamento térmico sobre o MOR, Boonstra et al. (2007) observaram na madeira de *Pinus sylvestris* L. uma redução de 3,16% dessa propriedade, atribuída ao tratamento empregado. Entretanto Korkut et al. (2007) observaram uma maior redução no MOR, da ordem de 11,08 %, inferior àquele encontrado na madeira sem tratamento para a mesma espécie.

De acordo com Unsal et al. (2003), em relação às propriedades de resistência, o efeito é claramente alcançado com tratamentos prolongados, observando-se um menor efeito sobre o módulo de elasticidade e, maior, sobre a resistência ao impacto e à flexão estática (MOR).

O módulo de elasticidade da madeira de Bracatinga termorretificada na prensa e na estufa sem nitrogênio se reduziu, exceto para o método da prensa na temperatura de 220°C (10243 MPa), que foi superior à testemunha (9437 Mpa). Estes resultados discrepantes podem se explicados por variáveis incontroláveis como defeitos no interior da peça ou até mesmo deformações causadas pelo aquecimento (RODRIGUES, 2009).

Na Tabela 19 são apresentados os valores médios do MOR e MOE em flexão estática da madeira de Peroba mica termorretificada, em função do método e da temperatura.

TABELA 19 - Médias do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática, para a madeira termorretificada de Peroba mica

Espécie	Temperatura (°C)	Métodos					
		Prensa		Estufa a vácuo		Estufa a vácuo com N ₂	
		MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Peroba mica	Testemunha	97,08 Aab	6910 Ab	97,08 Ac	6910 Ac	97,08 Ac	6910 Ab
	180	102,05 Ba	7953 Ca	124,46 Aa	12205 Aa	123,33 Aa	10390 Ba
	200	94,06 Bb	7573 Ca	111,38 Ab	10922 Ab	115,90 Ab	9955 Ba
	220	81,71 Cc	7998 Ba	109,08 Bb	10696 Ab	125,36 Aa	10580 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas para a mesma propriedade e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas para a temperatura não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 19, para o MOR, que não houve diferença significativa entre as madeiras termorretificadas na estufa, exceto para a temperatura de 220 °C, quando foi obtida ao maior média de MOR (125,36

MPa). Para a madeira termorretificada na prensa, apenas para a temperatura de 180 °C foi observado um valor do MOR maior que a testemunha. O menor valor do MOR foi encontrado para o método da prensa na temperatura de 220°C, sendo esse comportamento atribuído à influência da alta temperatura e do método (meio oxidante), tornando a madeira menos resistente, corroborando Rodrigues (2009), Mouras et al. (2002) e Almeida (2007), que observaram, quando submetida a um meio oxidante, para tratamentos a partir de 220°C e 60 min, que a madeira tendeu a diminuir sua resistência à ruptura.

Segundo Boonstra et al. (2007), a principal explicação para essa redução no valor do MOR são as mudanças que ocorrem no teor e estrutura das hemiceluloses com o tratamento térmico, ocasionando perda da resistência da madeira à flexão.

Observa-se que o módulo de elasticidade da madeira de Peroba mica foi aumentado pela termorretificação, principalmente na estufa sem nitrogênio. Todos os valores encontrados foram superiores à testemunha. Segundo Gunduz et al. (2009), esse resultado pode ser explicado pelo aumento das ligações cruzadas na rede de lignina, uma vez que é esperado que esse fenômeno melhore a estrutura rígida em torno das microfibrilas de celulose e da resistência característica da lamela média. Também outro fenômeno que pode afetar essa propriedade são as propriedades termoplásticas da madeira, pois acima de determinada temperatura as características físicas da hemicelulose (127–235°C), lignina (167–217°C) e celulose (231–253°C) mudam para um estado similar à borracha ou plástico, embora o vapor possa reduzir a extensão destas faixas, pelo fato de a água atuar como um agente plastificante. No resfriamento, as fases desses componentes se tornam mais rígidas e a estrutura molecular do polímero pode ser alterada, o que provavelmente afeta a interação entre os principais componentes de madeira e, por conseguinte, as propriedades de resistência.

Esteves e Pereira (2009) relacionam este aumento do MOE com o aumento da cristalinidade da celulose e com a redução do conteúdo de umidade de equilíbrio. O efeito da cristalinidade prevalece no início do

tratamento, mas com sua continuidade a degradação térmica é dominante, levando a uma redução dessa variável.

Na Tabela 20 são apresentados para a madeira de *Eucalyptus sp.* os valores médios da flexão estática (MOR e MOE) em relação à temperatura e método de termorretificação.

TABELA 20- Médias do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática, em MPa, para a madeira de *Eucalyptus sp.*

Espécie	Temperatura (°C)	Métodos					
		Prensa		Estufa a vácuo		Estufa a vácuo com N ₂	
		MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
<i>Eucalyptus sp.</i>	Testemunha	111,26 Aa	10120 Aa	111,26 Aa	10120 Aa	111,26 Ab	10120 Ab
	180	103,99 Bb	9897 Aa	99,08 Bc	7488 Bb	118,68 Ab	11513 Aa
	200	87,01 Cc	9693 Aa	105,99 Ba	7773 Bb	113,55 Ab	11135 Aa
	220	88,66 Cc	9799 Aa	101,30 Bb	7632 Bb	123,57 Aa	11831 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas para mesma propriedade não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Para o *Eucalyptus sp.* a termorretificação na estufa com nitrogênio resultou em maiores valores de MOR, quando comparado com a testemunha. Neste método, de modo geral, não foi encontrada influência da temperatura no MOR, contudo para a temperatura de 220°C, foi obtida a maior resistência à ruptura. Isto também foi observado para a madeira de *Peroba mica*.

Menores valores do módulo de ruptura foram encontrados na madeira termorretificada na prensa. Foi observada uma tendência na perda de resistência à ruptura em função da temperatura. A termorretificação na prensa produziu um efeito indesejável para madeira, pois o tratamento térmico diminuiu de forma significativa o MOR. O mesmo comportamento da madeira foi notado para o método da estufa a vácuo sem nitrogênio.

Boonstra et al. (2007) elucidam este fato devido ao aumento da temperatura e/ou do tempo de tratamento, o que causa uma redução mais acentuada das hemiceluloses com correspondente perda da resistência, fato este relatado por diversos autores (YILDIZ, 2002; EESTEVES et al., 2007; KORHUT et al. 2007; ESTEVES e PEREIRA, 2009), que consideram a

degradação das hemiceluloses principal responsável pelas alterações sofridas pelas madeiras quando tratadas termicamente.

De acordo com Winandy e Rowell (2005), durante a degradação térmica a madeira perde resistência mecânica pela diminuição de componentes como a xilose, a galactose e a arabinose.

Considerando que a resistência à flexão é uma combinação das tensões, de tração, compressão e cisalhamento, deve-se analisar como essas forças são afetadas pela degradação das hemiceluloses.

Na Tabela 21 são apresentados os valores médios do módulo de ruptura da madeira de Cumaru termorretrificada. A análise de variância indicou que o MOR foi afetado pelos tratamentos, ocorrendo efeitos isolados do método e da temperatura de tratamento térmico.

O MOE não afetado de forma isolada, nem houve interação significativa entre métodos e temperatura, indicando que o tratamento térmico não afetou o módulo de elasticidade.

TABELA 21 - Médias do módulo de ruptura (MOR) em flexão estática da madeira de Cumaru em função do método de termorretrificação

Métodos	Módulo de Ruptura (MPa)
Testemunha	170,47 A
Prensa	148,46 B
Estufa a vácuo	170,30 A
Estufa com N ₂	171,00 A

Médias ao longo da coluna seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

O aquecimento na prensa ocasionou o menor valor de MOR, diferenciando-se estatisticamente dos outros dois métodos, tendo sido menor que a testemunha. Os outros dois métodos foram estatisticamente iguais entre si e à testemunha.

A perda de resistência à ruptura observado no MOR da madeira termorretrificada na prensa pode estar relacionada à presença de extrativos na

madeira e ao ambiente com oxigênio, que acelera a degradação do material tratado.

Segundo Moura (2007), a perda de resistência mecânica é frequentemente associada aos processos de aquecimento muito acelerado (em etapa única) e àqueles em que a temperatura máxima é próxima dos 250°C, semelhante o método da prensa utilizado neste trabalho, porém com temperaturas até 220 °C.

Com o intuito de minimizar essas alterações mecânicas, Pincelli (1999) propôs um processo de tratamento térmico a vapor, cujo aquecimento é feito de forma mais lenta e em temperaturas mais baixas, objetivando reduzir as perdas de resistência mecânica.

Uma atmosfera inerte ou ligeiramente redutora favorece o controle do tratamento, reduzindo a perda de resistência mecânica (DOI et al., 1999). Os resultados encontrados neste trabalho para a madeira de Cumaru estão de acordo com os autores acima, uma vez que na estufa a vácuo com ambiente deficiente de ar ou inerte, foram observados valores maiores do MOR. Contudo, esses valores não diferiram significativamente da testemunha.

Em resumo, segundo Poncsak et al.(2006), a madeira se torna mais rígida e frágil, e certas propriedades mecânicas podem sofrer redução, dependendo da temperatura máxima de tratamento, taxa de aquecimento, duração do tratamento a temperatura máxima e umidade, podem aparecer rachaduras e a estrutura da parede celular pode ser parcialmente degradada. Assim, otimizações desses parâmetros devem ser desenvolvidas para cada espécie de madeira. Deve-se considerar que a madeira da mesma espécie oriunda de diferentes condições pode ter diferenças significantes em sua estrutura celular, portanto, exigindo diferentes condições de tratamento.

Foi observado que todas as madeiras se romperam de forma abrupta enquanto nas testemunhas a ruptura ocorreu de forma gradual. Segundo Esteves e Pereira (2009), a madeira torna-se mais quebradiça com a deterioração das propriedades de fratura pela perda de polissacarídeos amorfos. A degradação das hemiceluloses é referida como o fator principal para a perda da resistência mecânica. Para Boonstra et al. (2007), a energia

consumida até a fratura total é menor nas amostras tratadas do que para as amostras não tratadas. As forças externas que a madeira aquecida pode suportar após a falha são muito menores do que para a madeira não tratada.

6. CONCLUSÕES

De um modo geral, pode-se concluir que:

- A termorreificação na estufa a vácuo para a redução do equilíbrio higroscópico foi mais eficiente que o método da prensa.
- O tratamento térmico exerceu influência significativa na densidade básica das madeiras, exceto para a madeira de Bracatinga.
- A estabilidade dimensional das madeiras melhorou com a termorreificação.
- Madeiras de Cumaru não são indicadas para o tratamento térmico na prensa, a não ser em temperatura inferior a 180 °C. O método mais eficiente para essas madeiras é o método da estufa com nitrogênio.
- A heterogeneidade das madeiras foi mostrada neste trabalho, uma vez que cada espécie reagiu de forma diferente a cada tratamento térmico, sugerindo estudo mais completo para cada espécie, para uma otimização dos parâmetros do tratamento térmico.
- As madeiras termorreificadas quando comparada com as testemunhas não empenaram e nem torceram, contudo, foi notada a presença de pequenas

fissuras nas madeiras de *Eucalyptus grandis*, quando submetidas ao método da prensa e em temperaturas de 200 e 220 °C, em algumas peças.

- Através dos tratamentos térmicos, sobretudo na prensa e em temperaturas mais altas, foram observadas diferenças entre as cores (ou tons de cores) das madeiras, algumas em menor e outras em maior intensidade.
- Os tratamentos térmicos na estufa a vácuo aumentaram a dureza Janka para o *Eucalyptus grandis*. Houve um aumento significativo nas propriedades da flexão estática (MOR e MOE).
- Para a Bracatinga, os maiores valores encontrados para a dureza Janka foram para a madeira termorretificada na prensa e na estufa a vácuo. A Bracatinga foi mais resistente ao calor, e os valores do MOR E MOE foram maiores que a testemunha.
- As propriedades mecânicas da madeira de Peroba mica ultrapassaram os valores da testemunha, tendo sido os valores mais acentuados para o MOR e MOE.
- A termorretificação na estufa com nitrogênio foi o mais eficiente para aprimorar as propriedades da flexão estática. Os outros dois métodos agiram de forma negativa nestas propriedades, principalmente para as temperaturas mais altas. Em relação à dureza Janka, os métodos da prensa e da estufa com nitrogênio diminuíram os valores desta propriedade.
- Na madeira de Cumaru, para os valores de MOR, o tratamento térmico na prensa foi diferente estatisticamente dos tratamentos na estufa a vácuo, estufa com nitrogênio e da testemunha. O MOE não sofreu

nenhuma alteração quando as madeiras foram submetidas aos tratamentos térmicos.

- Considerando os resultados obtidos e algumas observações feitas pela autora no decorrer da pesquisa, são propostos novos trabalhos que proverão informações importantes, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELI, A., Indicações para escolha de espécies de *Eucalyptus*, **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**. IPEF-LCF/ESALQ: Piracicaba 1p. 2005.

ARIAS, B., PEVIDA, C., FERMOSO, J., PLAZA, M. G., RUBIERA, F., PIS, J. J. Influence of Torrefaction on the Grindability and Reactivity of Wood Biomass. **Fuel Processing Technology**, 89, p. 169-175. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Ensaio físicos e mecânicos da madeira – MB-26/40**. Rio de Janeiro, 16p. 1940.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**, Rio de Janeiro, 107p. 1997.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO PRODUTORES DE PISOS DE MADEIRA MACIÇA. **Apostila do curso básico de madeira**. Belém. 58p. 2006.

ALMEIDA, G. Valorização energética de resíduos madeireiros mediante a termorreificação. Relatório de atividades (bolsa de pós-doutorado) N° 1. FAPESP. 57p. 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) – Annual Book of standards: D1582-60. Denver: ASTM, 1994.

BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A. A. **Exploração seletiva do sub-bosque: uma alternativa para aumentar a rentabilidade dos bracingais**. Colombo: EMBRAPA-CNPF, (EMBRAPA-CNPF. Circular técnica, 28).17 p., 1998.

BAGGIO, A.J.; CARPANEZZI, A.A.; GRAÇA, L.R.; CECCON, E. Sistema agroflorestal tradicional da bracatinga com culturas anuais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n.12, p.73-82, 1986.

BERNARDO, A.L. **Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus spp* sob diferentes espaçamentos na região do cerrado de Minas Gerais**. Dissertação (mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 131p. 1995.

BESSA, M. T. F., NASCIMENTO, C. C., SILVA, A. C. Estrutura da madeira e sua correlação com propriedades mecânicas. **Acta Amazônica**. 1990.

BOONSTRA M. J., B. F. TJEERDSMA & H. A. C. GROENEVELD; Thermal modification of non-durable wood species 1. The PLATO technology; **The International Research Group on Wood Preservation**; IRG Document No. IRG/WP 98 40123. 1998.

BOONSTRA, M. J.; TJEERDSMA, B. F. Chemical analysis of heat-treated softwoods. **Holz Roh-Werkst**, v. 64, n. 1, p. 204-211, 2006.

BOONSTRA, M.J.; ACKER, J.; KEGEL, E.; STEVENS, E. Optimization of a two-stage heat treatment process: durability aspects. **Wood Science and Technology** 41(1): 31-57p. 2007.

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

BRITO, J. O. O estudo das influências da temperatura, taxa de aquecimento e densidade da madeira de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus citriodora* sobre os resíduos sólidos da pirólise. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. 81p. 1992.

BRITO, J.O. Estudo preliminar de retificação térmica da madeira de eucalipto. In: Congresso Florestal Brasileiro, 7, **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. 774 p.

BRITO, O. T., GARCIA, J. N., JUNIOR, G. B., PESSOA, A. M. DAS C., SILVA, P. H. M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorretificação. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v.12,n.2, p.182-188. 2006.

BRUNETTI M; CREMONINI C.; CRIVELLARO A.; FECI E.; PALANTI S.; PIZZO B.; SANTONI I.; ZANUTTINI R. Thermal treatment of hardwood species from Italian plantations: preliminary studies on some effects on technological properties of wood. **ISCHP**, Québec, 2007, v.7, p.325-332.

BOONSTRA, M.J; ACKER, J.; TJEERDSMA, B.F; KEGEL, E. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric

structural wood constituents. *Annals of Forest Science* 64: 679-690. 2007.

CABRAL, C. P. T. **Propriedades de chapas tipo aglomerado e OSB, fabricadas com partículas e flocos de madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana* e *Pinus elliottii*.** Viçosa, UFV, (Dissertação - Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira), 104p. 2005.

CALIL, C., LAHR, F. A. R., DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais.** 1 ed., Barueri: Manole, 152p. 2003.

CARMO, A. P. T., Avaliação de algumas propriedades da madeira de seis espécies de eucalipto. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 74p. 1996.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileiras.** Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003.

CASTELO, P. A. R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão.** Tese de doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 151p. 2007.

CHIMELO, J. P. **Development of a probability-based computerized characterization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods.** Tese (Doutoramento Virginia Polytechnic Institute and State University), Blacksburg, 206f. 1980.

COLENCI, A. R. **Qualificação mecânica de madeiras para uso como dormente ferroviário.** Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 90 p. 2002.

COLENCI, A. R. **Desenvolvimento de equipamento para avaliação em campo da dureza de madeiras para dormente ferroviário.** Tese de doutorado em Agronomia, Área de concentração em Energia da Agricultura, UNESP, Campus de Botucatu, SP. 112p. 2006.

COSTA, A. F. DA, VALE, A. T. DO, GONÇALVEZ, J. C. Eficiência de um resíduo de origem petrolífera sobre a estabilidade dimensional da madeira de *Pinus sp. (pinus)* e *Mimosa scabrella* Benth (bracatinga). *Revista Ciência Florestal*, Santa Maria, RS. V.11, n.2, p.59-70. 2001.

CURRIER, R. A. The importance of lumber seasoning in wood gluing. **Western Dry Kiln Clubs**, Corvallis, OR. 4 p. 1961; Disponível

em:<http://ir.library.oregonstate.edu/dspace/bitstream/1957/4872/1/Importance_Lumber_ocr.pdf> (acesso em 04/003/2010).

DESCH, H. E.; DINWOODIE, J. M. **TIMBER**: its structure, properties and utilization. 6 ed. London: Macmillan Education, 410 p. il. 1981.

DIRCKX, O. **Étude du comportement photochimique d'Abies grandis sous irradiation solaire**. Tese (doutorado em Sciences du bois) Université de Nancy I, 1988.

DIRCKX, O.; TRIBOULOT-TROUY, M.C.; MERLIN, A.; DEGLISE, X. Modifications de la couleur du bois d'Abies grandis exposé à la lumière solaire. **Ann Sci For** 49: 425-447,1992.

DOAT J. **CTFT Research into wood pyrolysis**. Symposium Forest Products Research International Archivement and the Future., p 12-24. April 1985.

DOI, S.; KURIMOTO, Y.; OHMURA, W.; OHARA, S.; AOYAMA, M.; YOSHIMURA, T. Effects of heat treatments of wood on the feeding behaviour of two subterranean termites. **Holzforschung**, v. 53, p. 225-229, 1999.

DUCHEZ, L., GUYONNET, R. **Principles and applications of wood rectification**. Disponível em: [http:// techtp.com/twopapers/fao](http://techtp.com/twopapers/fao). Acesso em: 08 janeiro 2010.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: UFSM/CEPEF (Série Técnica, n.10). 33p. 1991.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa Florestal. Manual técnico da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 70 p., 1988.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa Florestal. Sistemas de Produção, ISSN 1678-8281 Versão Eletrônica. Agosto, 2003.

ESTEVES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: a review. **BioResources**, v. 4, n. 1, p. 370-404, 2009.

FAO – Food and Agriculture Organization. Forest products and services. <http://www.fao.org/forestry/index.jsp>.

FENGEL, D., WEGENER, G. **Wood**: chemistry, ultrasctructure, reactions. Berlim: Walter de Gruyter, 1989.

FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATIONA (FTA), **ThermoWood® Handbook**, FIN-00171, Helsinki, Finland. 90p. 2003.

FOELKEL, C. E. B. Madeira de eucalipto: da floresta ao disgestor. **IPEF-Bolentim Informativo**, Piracicaba, 6(20): E-1-25. 1978.

Forest Products Laboratory. **Wood handbook - Wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, p. 463,1999.

GALVÃO, A.P.M.; JANKOVSKY, I. **Secagem racional da madeira**. São Paulo, Nobel, 112p. 1985.

GARCIA, C. B. **Anatomia, composição e propriedade de cinco madeiras paraguaias**. Dissertação de mestrado em Ciência Florestal. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 126p. 1995.

GÉRARD, J. BAILLÈRES, H.; FOURNIER, M., THIBAUT, B. Qualité du bois chez les eucalyptus de plantation. Étude de variation de trois propriétés de référence. **Bois et Forêts des Tropiques**, Nancy, n. 245, p. 101–111, 1995.

GIRARD P., SHAH N. **Developpement of torrefied wood, an alternative to charcoal for reducing deforestation**. Technical Series; 20:101-114p. 1991.

GIUDICE, R.R. Proposta do Governo Brasileiro para a Gestão das Florestas Públicas e Fomento das Atividades Florestais em: http://WWW.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vi_en/mesa2/Proposta_do_Governo_Federal_brasileiro_para_a_gest_o_florestal.pdf. Acesso em: 5 de janeiro de 2010.

GREEN, D. W.; WINANDY, J. E.; KRETSCHMANN, D. E. Mechanical properties of wood. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison, WI : USDA Forest Service. General technical report FPL; GTR-113: Pages 4.1-4.45. 1999.

GOHAR, P., GUYONET, R. Development of wood rectification process at the industrial stage. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD PRESERVATION, 4., Cannes, 1998. **Proceedings**. Cannes: IRG, p.173-178, 1998.

GUEDIRA, F. **Pyrolise lente de La biomasse**: comportement comparé des tourteux d'olives, de bagasse de canne à sucre et la sciure de bois (Pin maritime). Thèse (Docteur) – Université Mohamed, Maroc, 122f, 1988.

GUNDUZ, Gokhan. KORKUT, Suleyman. AYDEMIR, Deniz. BEKAR, İter. The density, compression strength and surface hardness of heat treated hornbeam (*Carpinus betulus*) wood: Maderas. **Ciencia y Tecnología** [en línea] 2009, vol. 11 no. 1 [citado 2010-04-22]. Disponível na internet: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=48511355005>. ISSN 0717-3644.

HASELEIN, C.R.; BERGER, R.; GOULART, M.; STHAL, M.; TREVISAN, R. SANTINI, E.J.; LOPES, M. de C. **Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12 % de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação.** Ciência Florestal, Santa Maria, v.12, n.2, p.147-152, 2002.

INOUE, M.T., RODERJAN, C.V. & KUNIYOSHI, Y.S. Projeto Madeira do Paraná. Sudesul, IBDF, FUPEF, Curitiba, 1984.

JODIN, P., GILBERT, J. Étude de l'effet du traitement de chauffage d'un bois sur certaines propriétés mécaniques: rapport d'essais. Metz: Université de Metz, 7p. 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Madeiras da Amazônia:** características e utilização. v. 3. Amazônia Oriental. Brasília, DF, 141 p. 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia:** características e utilização: Floresta Nacional do Tapajós. Brasília, DF, v. 1. 113 p. 1981.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia:** características e utilização: Estação Experimental de Curuá-Una. Brasília, DF, v. 2. 236 p. 1988.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT – Estado de São Paulo. Métodos de ensaios adotados no IPT para estudos de madeiras nacionais **Boletim nº 31.** 2ª ed. 60p. 1956.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT – Estado de São Paulo. Madeira o que é e como pode ser processada e utilizada. **Boletim ABPM,** nº 36. 189p. 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE - IBAMA. *Amostragem e propriedades físico-mecânicas de madeira amazônicas.* Brasília, Coleção meio ambiente – Série estudo floresta, n. 1. 1993.

JÄMSÄ S. & P. VIITANIEMI, **Heat treatment of wood: Better durability without chemicals;** COST Action E22. 2001.

JOHANSSON, D. **Heat treatment of solid wood: effects on absorption, strength and colour**. 2008. 142 f. Doctoral thesis (Divisions of wood Physics) – Lulea University of Technology, Sweden, 2008.

KALNINS A.M. Surface characteristics of Wood as they affect durability of finishes, Part II. Photochemical degradation of wood. *Us for serv Res Paper FPI* 57:23-60. 1966.

KIM, G., YUM, k., KIM, j. Effect of heat treatment on the decay resistance and the bending properties of radiata pine sapwood, *Material and Organismen*, 32(2), 101-108, 1998.

KLITZKE, R. J. **Curso de Secagem da Madeira - DETF/UFPR MÓDULO – 01** (não paginado).

KLOCK, U., MUÑIZ, G. I. B., HERNANDEZ, J. A., ANDRADE, A. S.; **Química da Madeira**. Universidade Federal do Paraná: Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 3ª. Edição, Curitiba, 86p. 2005.

KOLLMAN, F.; FENGEL D. Photosensitive groups in lignin and lignin model compounds. *Holz Roh-Werkstoff* 21 77-85p. 1965.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 275p. 2000.

KOLLMANN, F.F.P.; COTÉ Jr.,W.A. **Principles of wood science and technology : Solid wood**. New York, Springer Verlag,. v.1, p. 592. 1968.

KOLMANN, F. P. P., COTÉ, W. A. J. **Principles of wood science and technology**. New York. 1:403-404. 1968

Kozlik, C.J. Kiln-drying of western juniper. *Forest Products Journal*. 26(8): 73-76. 1976.

LATORRACA, J. V. de F.; ALBUQUERQUE, C.E.C. de. **Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira**. *Floresta e Ambiente*, v.7, n.1, p.279-291, 2000.

LELLES, J. G. & SILVA, J. C. Problemas e soluções sobre rachaduras de topo de madeiras de *Eucalyptus spp.* nas fases de desdobro e secagem. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186. p. 62-69. 1997.

LOUREIRO, A.A. Silva, M.F. da; Alencar, J.C. *Essências madeireiras da Amazônia*. INPA, Manaus. 187 p., 1979.

LOGSDON, N. B., FINGER, Z., BORGES, C. G. A. Caracterização físico-mecânica para madeira de peroba-mica, *Aspdosperma populifolium*, A. DC. (APOCYNACEAE). **Floresta**, Curitiba, PR. V.38. n.1. 2008.

LOVATTI, L. P. Madeira serrada na Região Sul do Espírito Santo: Comercialização e propriedades. Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. 119p. 2008.

MACHADO, F. J. J. , GOMIDE, J. L., CAMPOS, W. O., CAPITANI, L. R. Caracterização da madeira de *Eucalyptus pilulares* e estudos para a produção de celulose Kraft. **Revista Árvore** 12(2) : 111-122, 1988.

MACHINERY BUSINESS SOCIETY. **The perdure wood**. Sant-Claire. 12p. 1997.

MANNIEN, A. M.; PASANEN, P. ; HOLOPAINEM, J. K. Comparing the atmospheric emissions between air-dried and heat-treated Scots pine Wood. **Atmospheric Environment**, v.36, n.11, p. 1763-1768. 2002.

MANIERI,C. CHIMELO,J.P. **Ficha de características das madeiras brasileiras**. São Paulo:IPT,1989.

MARRA, G. G. The role of adhesion and adhesives in products industry. In: WOOD ADHESIVES RESEARCH, APLICATION AND NEEDS. Washington. **Proceedings**. Washington: USDA-PFL, p. 1-8. 1980.

MARIN, V. A. **Colagem da madeira**- Importância das colas nas empresas madeireiras (Palestra ministrada para disciplina de Química da Madeira), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 27p. 2008.

MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 117p. 1997.

MARTINS, V. A. **Secagem de madeira serrada**. IBDF/LPF: Brasília, DF. 56p. 1988.

MAYES, D.; OKSANEN, O. **ThermoWood Handbook**. Finland: Finnforest, 2002.

MAZET, J.F. **Couleur et qualité des placages de vhene et étude de leur comportement photochimique**. Tese (Doutorado em Ciências da Madeira) Nancy I University p. 282-291, 1988.

MELLADO, E. C. E. R. **Modelo de Transferência de Calor e Massa na Secagem de Madeira Serrada de Pinus**. Tese (Doutorado em

Engenharia Florestal)) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 169 f. 2007.

MELO, J. E. Estrutura de madeiras (apostila). UnB/FAU/LPF. 61p. 2003.

MILITZ H. Thermal treatment of wood: European Processes and their background; **The International Research Group on Wood Preservation**; IRG Document No. IRG/WP 02-40241. 2002.

MITCHELL, R.L., SEBORG, R.M., MILLET, M.A., Effect of heat on de properties and chemical composition of Douglas-fir Wood and its major components. Journal of the forest products Research Society, v.3, n.4, p.38-42, 1953.

MODES, K. S. Efeito da retificação térmica nas propriedades físico-mecânicas e biológica das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 99p. 2010.

MOHEBBY B., **Biological attack of acetylated wood**; Ph.D. Thesis; Göttingen University; Göttingen: p. 147. 2003a.

MOREY, P. R. O crescimento da árvores. EPU: São Paulo. 72 p., 1976.

MOURA, M. C. O. , ROSADO, S. C. S., TRUGILHO, P. F., CARVALHO, D. Variações genéticas e herdabilidade da estabilidade dimensional da madeira de Eucalyptus. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, São Paulo, SP. **Anais...**p. 242-249. 2003.

MOURA, L. F., **Aspectos da usinagem e do acabamento de madeiras tratadas pelo processo de termoretificação**. Relatório Parcial apresentado à Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) referente ao Primeiro Ano de Bolsa de Pós-Doutorado, Piracicaba, SP. 86p. 2007.

MOURAS, S., GIRARD, P. ROUSSET, P., PERMADI, P., DIROL, D., LABAT, G. Propriétés physiques de bois peu durables soumis a un traitement de pyrolyse ménagée. In: **Annal of Forest Science**. Vol. 59. p. 317-326. 2002.

MOURA, L. F., **Aspectos da usinagem e do acabamento de madeiras tratadas pelo processo de termoretificação**. Relatório Parcial apresentado à Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) referente ao Primeiro Ano de Bolsa de Pós-Doutorado, Piracicaba, SP. 86p. 2007.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira** Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná-UFPR, 168p. 2005.

NEILSON D., The global *Eucalyptus* resource and some solidwood-panel product developmental issues. IUFRO Conference, Launceston, Austrália.

NUOPPONEN, M. et al. The effects of a geast treatment on the behaviour of extractives in softwood studied by FTIR spectroscopic methods. **Wood Science and Technology**, v.37, n.2, p. 109-115,2003.

NUOPPONEN, M., VUORINEN, T., JAMA, S., VIITANIEMI, P. Thermal modifications in softwood studied by FT-IR and resonante Raman Spectroscopies. **Journal of wood Chemistry and Technology**. v.24. p. 13-26. January, 2005.

OLIVEIRA, V. S.; TOMASELLI, I. Efeito da secagem a altas temperaturas em algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira jovem de *Araucaria Angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Revista Floresta**, Santa Maria, v.2,n.1, p. 17-25,1981.

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

OLIVEIRA, R. M., **Utilização de técnicas de caracterização de superfícies em madeiras tratadas termicamente**. Tese de Doutorado. Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 123p. 2009.

PANSHIN, A. I., DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 722p. 1980.

PARAYNO, J.A. Shrinkage of some Philippine woods. **FPRDI**, Laguna, 13: 8-14, 1984.

PESSOA, A. M. C., FILHO, E. B., BRITO. J. O. Avaliação da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis*, submetida ao ataque de cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis*. **Scientia Florestais**, n.72, p. 11-16, 2006.

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

PETROFF, G., DOAT, J. Pyrolyse des bois tropicaux: influence de la composition chimique des bois sur les produits de distillation. **Bois et Forêts des Tropiques**, n. 177, 51-54p., jan./fev., 1978.

PINCELLI, A. L. P. S. M. **Efeito da termorreificação no envernizamento, colagem e cor da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.** 1999. 115 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) – Departamento de Ciências Florestais, ESALQ-USP, Piracicaba, 1999.

PINCELLI, A.L.P.S., BRITO, J.O., CORRENTE, J.E. **Avaliação da termorreificação sobre colagem na madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.** Scientia Forestalis, Piracicaba, n.61, p.122-132, jun.2002.

PINHEIRO, A. L. **Considerações sobre taxonomia, filogenia, ecologia, genética, melhoramento florestal e a fertilização mineral e seus reflexos na anatomia da madeira.** Viçosa, MG: SIF, 144p.1999.

PINTO, E. M. Determinação de um modelo de taxa de carbonização transversal a grã para o *Eucalyptus. Citriodora* e *Eucalyptus. Granidis*. Tese na Área de interunidades em ciência e engenharia de materiais, EESC/IFSC/IQSC, Universidade de São Paulo, SP. 138p. 2005.

PONCSÁK, S. EMSENHUBER, G., STINGL, R. Colour measurement as means of quality control of thermally treated wood. **In:** European Conference on Wood Modification. P.213-218. 2003.

PONCSÁK, S. et al. Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). **Wood Sci Technol**, v. 1, n. 40, p. 647–663, 2006. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/g225xlxr896u1422/fulltext.pdf>>. Acesso em: 20 de janeiro 2010.

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

RAPP A.O; **Review on heat treatments of wood; State of the art; COST Action E22.** 2001.

RAPP A.O. & M. Sailer, **Heat treatment of wood in Germany- State of the art; COST ACTION E22.** 2002.

REZENDE, M. A. DE, SAGLIETTI, J. R. C., GUERRINI, A. I., **Estudo das inter-relações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade.** IPEF n.48/49. p. 133-141. 1995.

RISBRUDT, C.D. Wood and Society. In Handbook of wood chemistry and wood composites. Rowell, R. M. (ed.) Boca Raton, Florida: CRC, p.1-7, 2005.

ROCHA, J. S., PAULA, E. V. C. M., SIQUEIRA, M. L. Flexão estática em amostras pequenas livres de defeitos. Acta Amazonia. V.18, p. 147-162. 1988.

RODRIGUES, T. O. **Efeito da Torrefação no Condicionamento de Biomassa para Fins Energéticos.** Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal, Publicação PPGEFL.DM-109/2009, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 71p., 2009.

ROTTA, E. e OLIVEIRA, Y.M.M. de. **Área de distribuição natural da bracatinga (*Mimosa scabrella*).** In: 4º Seminário sobre Atualidades e Perspectivas Florestais: bracatinga, uma alternativa para reflorestamento. Anais. EMBRAPA.URPFCS. Curitiba, p.1-23. 1981.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake da Ilha das Flores, Indonésia.** Dissertação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 69p. 1998.

ROWELL. R. M., LE VAN-GREEN, S.L. Thermal Properties. In: **Handbook of wood chemistry and wood composites.** Rowell R.M. (Ed.) Boca Raton, Florida: CRC, 121-138p. 2005.

SANTOS, I. S. Avaliação da madeira de *Eucalyptus sp.* para a produção de pisos a partir de toras de pequenos diâmetros. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da madeira/ Processamento e Utilização da Madeira), Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 66p. 2008.

SANTOS, J. A. Mechanical behaviour of Eucalyptus wood modified by heat. **Wood Science and Technology**, v. 34, n. 1, p. 39-43, 2000. Disponível em: < <http://joyx.joensuu.fi/~karenlam/petri/mechan/4487Sant.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2010.

SCANAVACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v.65, p.120-129, 2004.

SIAU, J. F., Flow in Wood. Syracuse University Press. 131p. 1971.

SILVA, J. R. M. DA, **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* HILL Ex. Maiden.** Tese no Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 204p. 2002.

SIMPSON, W. T. **Dry kiln operator's manual**. Madison: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory il. (USDA. Agriculture Handbook, 188). 274 p.1991.

SOUZA, M. H.; MAGLIANO, M. M.; CAMARGOS, J. A. A.; SOUZA, M. R. **Madeiras tropicais brasileiras**. Brasília, DF: IBAMA, 152 p. 1997.

STAMM, A. J. **Thermal degradation of wood and cellulose**. Industrial and Engineering Chemistry, v. 48, n. 3, p. 413-417, 1956.

STEWART, H.A.; POLAK, D.J. Relating specific gravity and mechanical properties of hardwoods to machining defects. **Forest Products Journal**, Medison, v.35, n.10, p.69-72. 1975.

STURION, J. A.; SILVA, F. Caracterizacion de la madera de bracatinga para energia. In: SALAZAR, R. (Ed.). **Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso multiple**: actas Reunion IUFRO, Guatemala, abril 1989. Turrialba: CATIE, 1989. p. 541-549.

SUNDQVIST, B. **Colour changes and acid formation in wood during heating**. 2004. 154 f. Doctoral thesis (Divisions of wood material science) – Lulea University of Technology, Sweden, 2004. Disponível em: <<http://epubl.luth.se/1402-1544/2004/10/LTU-DT-0410-SE.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2010.

SYRJÄNEN T. & K. OY; **Heat treatment of wood in Finland: State of the art**; COST Action E22. 2001.

THERMOWOOD® HANDBOOK, FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION (FTA), FIN-00171, Helsinki, Finland. 90p. 2003.

TREATEDWOOD BRAZIL (TWBRAZIL), **Madeira Modificada Com Calor TMT** (Thermally Modified Timber), Apresentação resumida. Ficha técnica do produto. Ponta Grossa, Paraná, Brasil. 7p. 2010.

THÉVENON M.F., Oils and water repellents in wood protection: **Research and development in France**; COST ACTION E22. 2002.

TJEERDSMA B.; M. BOONSTRA; A. PIZZI; P. TEKELY & H. MILITZ; **Characterization of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement**; Holz als Roh- und Werkstoff; 56:149-153. 1998.

TOMAZELLO FILHO, M. **Notas de aula de formação, anatomia, propriedades e identificação de madeiras**. Piracicaba: ESALQ / Departamento de Ciências Florestais, (não publicado), 1994.

TSOUMIS, G. Science and technology of Wood: structure, properties and utilization. New York: Van Nostrand Reinold 494p. 1991

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Estudos das alternativas técnicas, econômicas e sociais para o setor florestal do Paraná.** Subprograma Tecnologia. Curitiba: “Convênio 28\76: SUDESUL, IBDF, Governo/PR”, 1979. 327p.

USDA. FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: Wood as an engineering material.** Madison: FLP, 1974.

VERGNET, L.F. **Torrefied wood: characteristics, economics and prospects at the present stage of process development.** Nogent Sur Marne: CIRAD, Head of Energy Department, 1v, 1988.

VERNOIS, M. **Heat treatment of wood in France: State of the art;** COST Action E22. 2001.

VIEIRA, R. DA S., **Propriedades mecânicas da madeira de clones de *Eucalyptus* e do carvão produzido entre 350 °C e 900 °C.** Tese de doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 80p. 2009.

VITAL, B. R. MACIEL, A. S., DELLA LUCIA, R. M. Qualidade de juntas coladas com lminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliotii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 637-644, 2006.

VOLVELLE, C.; MELLOOTTEE, H. Modelisation de la pyrolyse oxydante ou noxydante de bois ou de déchets végétaux à partir de leurs composants. In: PALZ, W.; CHARTIER, P. (Eds.). **Energy from biomass. 2. ed.** London: Applied Sciences, p. 925-929. 1982

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

WANGAARD, F. F. **The mechanical properties of wood**, New York, John Wiley & Sons , 337p. 1950.

WINANDY, J. ROWLL, R. M. **Chemistry of Wood Strength.** In: **Handbook of wood chemistry and wood composites.** Rowell, R. M. (ed.). Boca Ration, Florida: CRC, p. 303-347. 2005.

YILDIZ, S.; GEZER, E. D.; YILDIZ, U. C. Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. **Building and Environment**, v. 41, n. 1, p. 1762–1766, 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiImageURL&_imagekey=B6V23-4H0BSSH-2-

5&_cdi=5691&_user=687358&_pii=S0360132305003045&_check=y&_orig=search&_coverDate=12%2F31%2F2006&view=c&wchp=dGLbVzWzSkzk&md5=acfb475ea3fb2a5d7edd31a24ffe0f9a&ie=/sdarticle.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2010.