



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ERICK GONÇALVES ANDRADE

**INFLUÊNCIA DA TERMORRETIFICAÇÃO DE AMOSTRAS DE *Eucalyptus grandis* Hill
ex Maiden NAS PROPRIEDADES FÍSICAS, FLEXÃO ESTÁTICA E DUREZA JANKA**

Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
Novembro-2011



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ERICK GONÇALVES ANDRADE

**INFLUÊNCIA DA TERMORRETIFICAÇÃO DE AMOSTRAS DE *Eucalyptus grandis* Hill
ex Maiden NAS PROPRIEDADES FÍSICAS, DUREZA JANKA E FLEXÃO ESTÁTICA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho
Orientador

Seropédica, RJ
Novembro-2011

**INFLUÊNCIA DA TERMORRETIFICAÇÃO DE AMOSTRAS DE *Eucalyptus grandis* Hill
ex Maiden NAS PROPRIEDADES FÍSICAS, DUREZA JANKA E FLEXÃO ESTÁTICA**

Monografia aprovada em 23 de novembro de 2011.

Comissão examinadora:

Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho
DPF/IF/UFRRJ
Orientador

Prof. Dr. Roberto Carlos Costa Lelis
DPF/IF/UFRRJ
Membro

Eng. Flor. Elaine Ferreira Avelino
DPF/IF/UFRRJ
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais,
Benedito e Maria do Rosário

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sua graça e misericórdia que tem me alcançado a cada dia.

À minha família, pelo apoio, amor e paciência. Pois eles são os pilares em minha vida.

Aos meus amigos, que estiveram presentes em minha vida tanto nos bons momentos quando nos momentos ruins.

Em especial ao meu amigo e colega de quarto Angelo Luiz Pacheco dos Santos e amigas Milena “Mi” Scaramussa e Thalita T. Faria que foram meus parceiros dividindo todos os momentos e me ajudando durante todo o tempo em que passei na faculdade, amigos que levarei comigo sempre.

A minha grande amiga Larissa tem sido minha companheira em todos os momentos, minha companheira de oração. Uma pessoa muito importante no meu crescimento humano e espiritual.

Ao meu orientador Alexandre Monteiro de Carvalho, que esteve comigo desde o início do curso, sempre atencioso e disposto a ajudar e a ensinar, quem me iniciou na carreira científica e gerador da maior parte do conhecimento que adquiri na Universidade.

Aos professores que se dedicaram a passar-nos seus conhecimentos.

Ao professor Roberto Carlos Costa Lelis pela orientação na monitoria de Tecnologia da madeira, sempre atencioso e disposto a ensinar e ajudar, e pela participação em minha banca.

À mestrandia Elaine pela ajuda nos projetos de pesquisa e pela participação em minha banca.

RESUMO

O presente estudo propôs a avaliação e posterior caracterização das propriedades físicas e mecânicas de amostras de madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis* implantado na região de Pirai. A partir de pranchas de madeira termorretificada (aquecidas em estufa, de forma controlada, visando alteração de propriedades) foram confeccionados corpos-de-prova que, posteriormente, foram submetidos a ensaios físicos e mecânicos. As propriedades físicas analisadas foram umidade, densidade (aparente e básica) e estabilidade dimensional das amostras. Já os ensaios mecânicos realizados foram de dureza Janka (paralela e perpendicular às fibras) e flexão. Os ensaios foram realizados na Máquina Universal de Ensaios do Laboratório de Ensaios Físico-mecânicos do Departamento de Produtos Florestais, do Instituto de Florestas, da UFRRJ. Os resultados obtidos foram analisados através de análises estatísticas pertinentes. Para o material estudado, a termorretificação melhorou a condição de variação volumétrica e indicaram que a dureza Janka não foi significativamente prejudicada pelos tratamentos aplicados de termorretificação.

Palavras-chave: termorretificação, eucalipto, *Eucalyptus grandis*, propriedades da madeira

ABSTRACT

The present study proposed the evaluation and characterization of the physical and mechanical properties of *Eucalyptus grandis* wood samples after heat treatment. The genetic material was planted in the area of Pirai city, state of Rio de Janeiro. Starting from boards of heat treated wood (heated up in a controlled heat camera) were made specimens that, later, submitted to physical and mechanical evaluations. The analyzed physical properties were: equilibrium moisture content, density (apparent and basic) and dimensional stability of the samples. The mechanical tests were: hardness (Janka, with parallel and perpendicular orientation with the fibers) and static bending. The evaluations were made in the Universal Machine of Mechanical Tests of the Laboratory of Physical-mechanical Properties of the Forest Products Department, of the Forest Institute, of UFRRJ. The obtained results were analyzed through pertinent statistical analyses. For the material studied, heat treatment improved the condition of volume variation and indicated that the Janka hardness was not significantly affected by the treatments applied heat treatment.

Key-words: wood heat treatment, eucalypt, *Eucalyptus grandis*, wood properties

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo Geral.....	2
2.2 Objetivos Específicos.....	2
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
3.1 A Madeira e suas Utilizações.....	2
3.2 O Uso do Eucalipto.....	3
3.3 Propriedades Físicas da Madeira.....	3
3.4 Propriedades Mecânicas da Madeira.....	4
3.5 Termorreificação em Madeira.....	5
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	6
4.1 Coleta do Material.....	6
4.2 Tratamento Térmico.....	7
4.3 Confeção dos Corpos-de-prova.....	8
4.4 Ensaio Físico-mecânico.....	8
4.4.1 Umidade e densidade.....	8
4.4.2 Dureza Janka.....	8
4.4.3 Flexão estática.....	9
4.5 Ensaio Físico-mecânico.....	10
5. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	10
6. CONCLUSÃO.....	17
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18
8. ANEXO.....	21

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Desdobro das toras na serra de fita vertical.....	6
Figura 2.	Amostra de madeira em estufa elétrica (Fonte: BRITO, 2006).....	7
Figura 3.	Corpos-de-prova de Umidade e Densidade.....	8
Figura 4.	Ensaio de Dureza Janka.....	9
Figura 5.	Corpos-de-prova após ensaio de Dureza Janka.....	9
Figura 6.	Detalhe do ensaio de flexão estática.....	10
Figura 7.	Valores médios de umidade de equilíbrio para os tratamentos.....	12
Figura 8.	Valores médios de densidade (aparente e básica) para os tratamentos.....	12
Figura 9.	Valores médios de variação volumétrica para os tratamentos.....	13
Figura 10.	Valores médios referentes ao ensaio de flexão para os tratamentos.....	14
Figura 11.	Valores médios referentes ao ensaio de dureza Janka para os tratamentos.....	16

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Valores médios de umidade de equilíbrio, densidade aparente, densidade básica e variação volumétrica para os tratamentos avaliados.....	11
Tabela 2.	Valores médios do MOR e MOE obtidos nos ensaios de flexão estática.....	14
Tabela 3.	Valores médios dos resultados obtidos nos ensaios de dureza Janka no sentido perpendicular e paralelo à orientação das fibras.....	15
Tabela 4.	Análise de variância para os dados de umidade de equilíbrio.....	22
Tabela 5.	Resultados do Teste de Tukey para os dados de umidade de equilíbrio.....	22
Tabela 6.	Análise de variância para os dados de densidade aparente.....	23
Tabela 7.	Resultados do Teste de Tukey para os dados de densidade aparente.....	23
Tabela 8.	Análise de variância para os dados de densidade básica.....	24
Tabela 9.	Resultados do Teste de Tukey para os dados de densidade básica.....	24
Tabela 10.	Análise de variância para os dados de variação volumétrica.....	25
Tabela 11.	Resultados do Teste de Tukey para os dados de variação volumétrica.....	25
Tabela 12.	Análise de variância para os dados de MOR (kgf/cm ²) na flexão estática.....	26
Tabela 13.	Resultados do Teste de Tukey para os dados de MOR (kgf/cm ²) na flexão estática.....	26
Tabela 14.	Análise de variância para os dados de MOE (kgf/cm ²) na flexão estática.....	27
Tabela 15.	Resultados do Teste de Tukey para os dados de MOE (kgf/cm ²) na flexão estática.....	27
Tabela 16.	Análise de variância para os dados de dureza Janka (kgf) no sentido perpendicular às fibras.....	28
Tabela 17.	Resultados do Teste de Tukey para os dados de dureza Janka (kgf) no sentido perpendicular às fibras.....	28
Tabela 18.	Análise de variância para os dados de dureza Janka (kgf) no sentido paralelo às fibras.....	29
Tabela 19.	Resultados do Teste de Tukey para os dados de dureza Janka (kgf) no sentido paralelo às fibras.....	29

1. INTRODUÇÃO

A madeira é, sem dúvida, um material de grande importância econômica para diversos países, inclusive para o Brasil. O eucalipto, por exemplo, é utilizado para o abastecimento da maior parte da indústria de base florestal no Brasil. Em 2004, foram consumidos 340.000 m³ de madeira de eucalipto no Brasil só no setor de serraria (BRACELPA, 2004).

A madeira do eucalipto vem dia a dia ganhando espaço na indústria de madeira serrada e produtos à base de madeira, diversificando assim sua utilização, até pouco tempo prioritariamente destinada à indústria de celulose e para fins energéticos. Atualmente, já é uma realidade a produção de madeira serrada para diversos fins, painéis aglomerados, chapas de fibras, compensados e uma série de outros produtos (FARIA et al. 2008).

Lobão (2004), citando Eucalipto (2001), diz que entre as espécies de eucalipto comercialmente utilizadas, o *Eucalyptus grandis* é a que apresenta o melhor comportamento físico-mecânico para uso da madeira sólida.

A madeira dessa espécie é considerada mediamente leve e fácil de trabalhar em operações de usinagem, sendo considerada de baixa estabilidade dimensional e de elevada permeabilidade. É uma das espécies mais versátil e indicada para usos múltiplos apresentando, no entanto, problemas de empenamento, contração e rachadura nas operações de desdobro e secagem (ALZATE, 2004).

Existe hoje um grande desafio na área de tecnologia da madeira, que consiste em encontrar soluções para estabilidade dimensional e durabilidade desse material. Uma alternativa que se tem é tratar a madeira termicamente visando melhorar tais características.

Alguns trabalhos recentemente têm demonstrado a melhoria destas propriedades quando a madeira é tratada termicamente, processo também conhecido como termoretificação (Garcia et al., 2006; Kamdem et al., 2002; Viitaniemi & Jämsä, 1994).

A termoretificação é um processo em que o calor é aplicado à madeira em temperaturas inferiores às que provocam o início da degradação de seus componentes químicos fundamentais, sobretudo as hemiceluloses que são, dentre eles, os mais sensíveis à ação do calor (BRITO et al. 2006).

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 (PESSOA, 2006).

Uma vez tratada termicamente a madeira pode ser usada para revestimentos, confecção de paredes a prova de som, assoalhos, terraços, decks de barco, móveis para jardim, batentes de porta e janela, parques infantis, móveis para jardim, móveis externos e internos, portões, cercas, instrumentos musicais, dentre outros (ARAÚJO, 2010). Pode ainda substituir o tratamento de espécies cuja impregnação com compostos químicos é proibida de acordo com a natureza do uso final da madeira (PESSOA, 2006).

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar e caracterizar física e mecanicamente a madeira de *Eucalyptus grandis* submetida ao processo de termorreificação, através de ensaios de umidade, densidade, estabilidade dimensional, flexão estática e dureza Janka.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a influência do tratamento térmico sobre as propriedades físicas da madeira;
- Avaliar a influência do tratamento térmico sobre as propriedades mecânicas (MOR e MOE na flexão; dureza Janka).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A Madeira e suas Utilizações

A madeira é um dos primeiros materiais usados pelo homem através dos tempos, na construção de sua habitação e de seus primeiros equipamentos de transporte. De madeira foram os primeiros barcos, carros e trenós; e as primeiras armas, o arco, a flecha, a borduna. Há não muitos anos, os automóveis e caminhões ainda tinham muitos componentes de madeira assim como os vagões, os barcos e os aviões. Atualmente, a madeira tem sido substituída em muitos usos pelo aço, pelo alumínio e por suas ligas, e pelos plásticos. No entanto, é, e continuará sendo um material usado intensa e extensivamente principalmente pelos países mais desenvolvidos tecnologicamente e economicamente (PONCE, 1995).

A madeira é utilizada em diversos segmentos e para diversos usos, tais como: material estrutural, material de embalagem; na forma roliça ou esquadrejada é usada como postes, moirões, estaca de minas, dormentes; na indústria de móveis; como isolantes térmicos, acústicos ou elétricos; para produção de polpa celulósica, combustível para emprego doméstico ou industrial; facilmente adaptável à produção de artigos secundários como lápis, palitos, fósforos, objetos artísticos, cabos de ferramentas etc.

O setor industrial de base florestal tem sido marcado por um processo de utilização crescente de madeiras provenientes de reflorestamento, colocando o Brasil em sintonia com a ordem mundial, que enfatiza a preservação das florestas naturais e incentiva a implantação de florestas renováveis.

Dalmasso (2010), relata que a partir da década de oitenta, iniciou-se a utilização de matéria-prima oriunda de reflorestamentos implementados pela política governamental de incentivos fiscais iniciados em 1966. Isso fez com que a indústria madeireira voltasse para as Regiões Sul e Sudeste do Brasil, grandes pólos consumidores .

A madeira é um material que apresenta excelentes propriedades, mas possui também características por vezes indesejadas como alta higroscopicidade, heterogeneidade e

anisotropia, das quais derivam grande parte dos problemas apresentados em seu uso. Estas características próprias da madeira geram a necessidade de aplicação de tratamentos que permitam uma melhor utilização, principalmente em sua forma sólida (MODES, 2010).

3.2 O Uso do Eucalipto

No Brasil, a ampla utilização da madeira de eucalipto pode diminuir o consumo da madeira de espécies nativas, cada vez mais sujeitas às restrições de corte, de governo e de sociedade conforme apresentado por Campinhos (2001).

O gênero *Eucalyptus* possui extensas plantações com grande número de espécies em várias regiões do mundo, o que explica sua adaptabilidade e elevada produtividade florestal em diferentes ambientes. Compreende espécies com madeira com elevado potencial para diversos usos, principalmente para energia, celulose e papel, painéis e produtos sólidos. (BRAZ, 2011)

As perspectivas de utilização intensiva da madeira de eucalipto são muito promissoras e têm por base o conhecimento já acumulado sobre a silvicultura e o manejo de várias espécies do gênero, sua maleabilidade e respostas ao melhoramento genético, que o tornam aplicável em um grande espectro de usos (OLIVEIRA, 1997).

O eucalipto apresenta algumas características que realmente dificultam o seu aproveitamento. Essas dificuldades não são, todavia, maiores do que apresentam a maioria das madeiras. O madeireiro brasileiro acostumado a trabalhar com toras de grande diâmetro de madeiras nativas nas serrarias tradicionais, ainda não se habitou a processar toras de 15 a 20 centímetros de diâmetro, das quais não pode obter tábuas de grande largura. (PONCE, 1995).

Apesar de apresentar algumas características desfavoráveis à sua utilização, o eucalipto destaca-se por possuir algumas características silviculturais que lhe confere vantagens para utilização industrial, tais como: rápido crescimento volumétrico, boa forma, facilidades a programas de manejo e melhoramento, facilidade de propagação vegetativa, adaptação a diversas condições de clima e solo, tratos culturais, desbastes, desrama.

Devido a sua alta taxa de crescimento em regiões caracterizadas por climas tropicais e subtropicais, a espécie *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden despertou grande interesse por parte das indústrias que utilizam a madeira de *Eucalyptus* como matéria-prima básica (FERREIRA, 1972).

3.3 Propriedades Físicas da Madeira

Segundo Benjamin (2006), as propriedades físicas mais empregadas na caracterização da madeira são a densidade, o teor de umidade e as alterações dimensionais promovidas pela perda ou ganho de água, notadamente a retratibilidade.

Dentre os índices que caracterizam a qualidade da madeira destacam-se a densidade básica e outros ligados à estrutura anatômica como o comprimento, o lúmen, o diâmetro e a espessura das paredes das fibras, pois estão associados às propriedades tecnológicas (FERREIRA, 1972).

Quando se pretende avaliar a qualidade da madeira, a densidade é uma das principais características a serem consideradas, uma vez que está relacionada com alguns aspectos

tecnológicos e econômicos muito importantes. Citam-se, como exemplos, a contração e o inchamento, a resistência mecânica das peças, o rendimento e a qualidade da polpa celulósica, a produção e a qualidade do carvão vegetal e os custos operacionais ligados ao transporte e armazenamento.

Shimoyama e Barrichelo (1991) afirmaram que todas as demais propriedades da madeira estão relacionadas à sua densidade, sendo esta o principal ponto de partida no estudo da madeira, para as mais diversas formas de utilização.

A madeira é um material altamente higroscópico e apresenta os fenômenos de contração e inchamento pela perda ou absorção de umidade. A variação dimensional da madeira é uma característica que pode limitar ou até mesmo desqualificá-la para algumas utilizações (MOURA, 2000).

Como a madeira é um material higroscópico, e por usualmente estar sujeita a alterações no teor de umidade, ela está quase sempre perdendo ou ganhando umidade para atingir um estado de equilíbrio com a atmosfera. Quando isto ocorre, diz-se que a madeira atingiu sua umidade de equilíbrio.

Cruz (2000), citando Oliveira (1997) e Skaar (1972), diz que a madeira troca umidade com o meio que a envolve até que seja atingido o equilíbrio, a retratibilidade ocorre em função dessa troca. A umidade responsável pela retratibilidade é aquela adsorvida aos grupos hidroxílicos das microfibrilas da celulose, nas hemiceluloses e também ligadas aos sítios existentes na lignina.

Silva (2002) diz que a variação no teor de umidade afeta a geometria das peças e as características de resistência mecânica dos elementos estruturais, tornando imprescindível tal conhecimento para utilização final do produto, com intuito e minimizar ou, mesmo, eliminar a ocorrência de possíveis defeitos.

3.4 Propriedades Mecânicas da Madeira

As propriedades mecânicas avaliam a aptidão da madeira em suportar as solicitações mecânicas. São normalmente mensuradas considerando-se a resistência – aptidão em suportar solicitações mecânicas propriamente ditas – e a rigidez – avaliada pelo módulo de elasticidade (BENJAMIN, 2006).

O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são dois parâmetros normalmente determinados nos testes de flexão estática e são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira; ambos dão uma boa aproximação da resistência do material, constituindo-se, na prática, parâmetros de grande aplicação na classificação dos materiais (SILVA, 2002).

Dentre as propriedades de resistência da madeira, a dureza revela suas potencialidades e pode ser utilizada como ferramenta na caracterização das espécies florestais (COLENCI, 2006).

Soriano (2010), citando Hansson & Antti (2006), diz que dureza superficial é especialmente importante nas aplicações da madeira destinadas à indústria moveleira e nas utilizações deste material em pisos. Esta propriedade da madeira pode ser determinada pelo método de ensaio destrutivo de dureza Janka.

Segundo Tsoumis (1991), a massa específica, a retratibilidade e a resistência aos esforços de flexão estática (MOE e MOR) são considerados os mais importantes parâmetros físico-mecânicos para a madeira sólida.

3.5 Termorretificação em Madeira

Nas últimas décadas, os cientistas estão pesquisando novas técnicas para melhorar as propriedades da madeira, de forma a ampliar 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 baratos métodos para melhorar as propriedades da madeira (ARAÚJO, 2010).

A termorretificação promove sensíveis alterações químicas nos polímeros de celulose, hemicelulose e lignina e, assim, obtêm-se um material com características diferenciadas, comparativamente à madeiras em condições normais; tais como, menor higroscopicidade, estabilidade dimensional e resistência biológica (MODES, 2010).

Consiste basicamente na exposição da madeira a elevadas temperaturas durante determinado tempo, a fim de melhorar suas propriedades físicas, como: estabilidade dimensional e redução da umidade de equilíbrio.

O tratamento térmico não emprega produtos químicos, fator muito importante no aspecto ambiental. Além disso, pode aumentar a resistência ao apodrecimento e a estabilidade dimensional da madeira, sendo que o processo pode se transformar numa opção para substituição de madeiras tradicionais, principalmente para aquelas que apresentam elevado custo de obtenção, bem como para espécies em extinção (PINCELLI, 1999). Pode ainda substituir o tratamento de espécies, cuja impregnação com compostos químicos é proibida de acordo com a natureza do uso final da madeira (PESSOA, 2006).

Existem atualmente diversos tratamentos térmicos utilizados com o objetivo de melhorar algumas propriedades físicas; comercialmente, a Europa utiliza os seguintes tratamentos térmicos: “ThermoWood® Process”, “Retification®”, “Le Bois Perdure®”, “Plato-Process®” e “Oil-Heat-Treatment®”.

Garcia (2010), citando diversos autores, diz que o tratamento térmico tem sido extensivamente estudado nos últimos anos porque ele agrega algumas propriedades desejáveis para a madeira e pode ser uma alternativa desejável para a preservação da madeira, pois não se utiliza componentes químicos. É sabido que o tratamento térmico na madeira melhora a estabilidade dimensional e durabilidade natural, bem como diminuição do teor de umidade de equilíbrio.

Existem alguns obstáculos quando se trabalha com madeira, segundo Johansson (2008) maioria desses está associado com suas propriedades higroscópicas em combinação com a sua anisotropia de contração e inchamento, além de degradação biológica, também relacionada a mudanças no conteúdo de umidade.

A termorretificação promove melhorias nas propriedades físicas da madeira, tais como maior estabilidade dimensional ocasionada pela diminuição da higroscopicidade da madeira (Poubel, 2011).

Calonego (2009) citando diversos autores (Weiland e Guyonnet (2003), Rousset et al. (2004) e Wikberg e Maunu (2004)) afirma que a madeira termorretificada é menos

higroscópica e apresenta melhora na estabilidade dimensional devido à degradação das hemiceluloses, à ruptura dos grupos hidroxílicos livres da região amorfa da celulose e à reticulação dos polímeros que compõem a madeira durante o seu tratamento.

Gouveia (2008), citando alguns autores também diz que as hemiceluloses, por serem os constituintes mais hidrofílicos da madeira, quando degradadas, melhoram e estabilidade dimensional devido a redução dos sítios de sorção da madeira, principalmente as hidroxilas.

Batista (2010), trabalhando com a influência do tempo e temperatura de retificação térmica na umidade de equilíbrio da madeira de *Eucalyptus grandis*, concluiu que a temperatura possui um efeito positivo na redução da umidade de equilíbrio. No entanto, a retificação térmica alterou a coloração da madeira, tornando-a mais escura.

Calonego (2009), concluiu que o efeito da termoretificação na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, possui um grande potencial para melhorar a estabilidade dimensional e a resistência natural do material, embora, diminua algumas de suas propriedades mecânicas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Coleta do Material

A madeira foi coletada a partir de seis árvores da espécie *Eucalyptus grandis*, implantadas em plantio de aproximadamente quinze anos de idade, com espaçamento de 3x2, em povoamento pertencente a um dos fornecedores da serraria LPZ Madeiras, localizada no distrito de Santanésia, município de Piraí - RJ, distante aproximadamente 60km do Campus de Seropédica da UFRuralRJ.

Logo após o abate, com o auxílio de uma trena, foram feitas as medições visando a obtenção de toras seccionadas com três metros de comprimento.

O desdobro das toras e confecção de pranchas com duas polegadas de espessura foi realizado através da parceria, já estabelecida em trabalhos anteriores, entre o DPF/IF/UFRRJ e a serraria LPZ Madeiras.

As toras foram processadas em serra de fita vertical, com volantes de 80cm, conforme mostra a Figura.



Figura 1. Desdobro das toras na serra de fita vertical.

4.2 Tratamento Térmico

O tratamento térmico das tábuas de madeira envolveu duas diferentes etapas:

1 - Secagem convencional:

A secagem foi realizada ao ar livre, por aproximadamente 3 meses. A mesma foi conduzida até atingir o teor de umidade de 12%, o qual foi acompanhado com o auxílio de um medidor elétrico de umidade.

Antes do tratamento térmico, as amostras foram condicionadas em câmara climática a 20°C e 65% de umidade relativa até atingir o teor de umidade de equilíbrio.

2 - Tratamento térmico:

Dois variáveis foram consideradas no tratamento térmico; temperatura (180°C, 200°C, 215°C e 230°C) e tempo (15 minutos, 2 e 4 horas). Este delineamento experimental fatorial resultou em 12 combinações com 6 repetições excluindo a testemunha, ou seja, amostras sem tratamento térmico.

O tratamento térmico foi realizado em uma estufa ELETROlab®, modelo 403 com capacidade de 0,1 m³, disponível no Laboratório de Secagem da Madeira do Departamento de Produtos Florestais (Instituto de Florestas, UFRRJ). A figura 2 ilustra os corpos-de-prova em uma estufa elétrica.

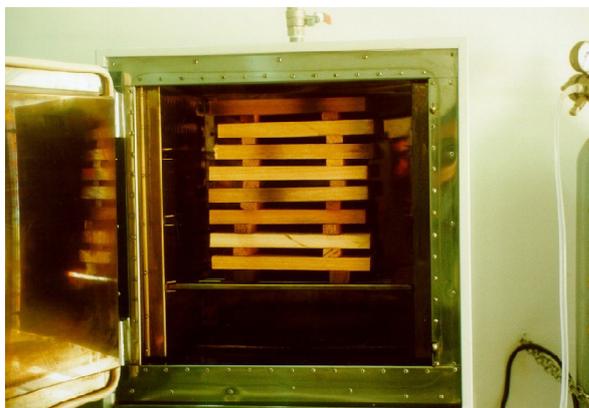


Figura 2. Amostra de madeira em estufa elétrica (Fonte: BRITO, 2006)

Após o tratamento, as amostras foram recondicionadas a 20°C e 65 % UR até atingirem o teor de umidade de equilíbrio.

Assim, os tratamentos considerados receberam a seguinte codificação:

- | | |
|-----------------------------|------------------------------|
| - (1) 180°/15min ou 180/15; | - (2) 180°/2h ou 180/2; |
| - (3) 180°/4h ou 180/4; | - (4) 200°/15min ou 200/15; |
| - (5) 200°/2h ou 200/2; | - (6) 200°/4h ou 200/4; |
| - (7) 215°/15min ou 215/15; | - (8) 215°/2h ou 215/2; |
| - (9) 215°/4h ou 215/4; | - (10) 230°/15min ou 230/15; |
| - (11) 230°/2h ou 230/2; | - (12) 230°/4h ou 230/4. |

4.3 Confeção dos Corpos-de-prova

Após terem sido tratadas termicamente e recondicionadas em câmara climatizada, as amostras de madeira, juntamente com as tábuas de madeira testemunha, foram levadas ao Laboratório de Processamento da Madeira DPF/IF/UFRRJ, para a confecção dos corpos-de-prova seguindo as orientações da norma ABNT NBR 7190 (1997).

4.4 Ensaios Físicos-mecânicos

4.4.1 Umidade e densidade

O teor de umidade da madeira corresponde à relação entre a massa da água nela contida e a massa da madeira seca em estufa a 103°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) até peso constante.

A umidade média da madeira foi determinada em corpos-de-prova de 2,0cm x 3,0cm x 5,0cm, após o período de climatização. Estes corpos-de-prova foram os mesmos utilizados para os ensaios de densidade aparente. A densidade aparente é a relação entre o peso da madeira, em gramas, e seu volume em centímetros cúbicos, a um determinado teor de umidade (em geral, calcula-se a densidade aparente no teor de umidade de equilíbrio da madeira com o ambiente).

Foram determinados dois tipos de densidades: básica e aparente.

A densidade básica é a relação entre o peso absolutamente seco da madeira, em gramas, e seu volume em centímetros cúbicos no estado de completa saturação de água.

Os corpos-de-prova para estes ensaios também foram confeccionados com as dimensões de 2,0cm x 3,0cm x 5,0cm e foram confeccionados a partir de “amostras casadas” com os corpos-de-prova utilizados para a umidade e densidade aparente, conforme Figura 3.

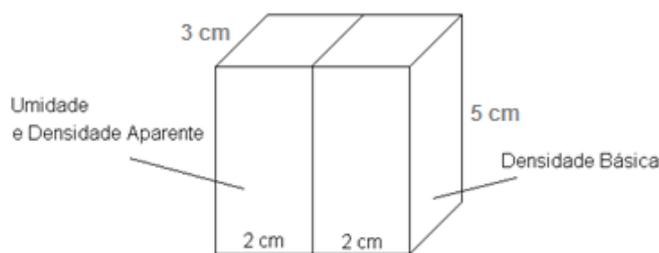


Figura 3. Corpos-de-prova de Umidade e Densidade

4.4.2 Estabilidade dimensional

A estabilidade dimensional da madeira é caracterizada pelas propriedades de retração da madeira nas direções axial, radial e tangencial. A variação dimensional da madeira é determinada em função das dimensões do corpo-de-prova nos estados saturado e seco.

Para a determinação da estabilidade dimensional foram utilizados corpos-de-prova de 2,0cm x 3,0cm x 5,0cm. Os procedimentos realizados seguiram as recomendações da norma ABNT NBR 7190(1997).

4.4.3 Dureza Janka

A dureza da madeira (dureza Janka) é determinada convencionalmente pela tensão que, atuante em uma das faces de um corpo-de-prova prismático, produz a penetração na amostra de uma semi-esfera de aço com área diametral de 1cm².

Os corpos-de-prova utilizados para este ensaio, conforme a ABNT NBR 7190(1997), foram confeccionados com as dimensões de 5cm x 5cm de lado e 15cm de comprimento no sentido longitudinal de disposição das fibras. A avaliação da dureza Janka foi feita no topo e nas laterais dos corpos-de-prova, caracterizando as durezas no sentido paralelo e perpendicular ou normal às fibras sucessivamente.

A Figura 4 apresenta detalhes da realização dos ensaios de dureza Janka.



Figura 4. Ensaio de Dureza Janka.



Figura 5. Corpos-de-prova após ensaio de Dureza Janka.

4.4.4 Resistência à flexão estática

A resistência à flexão estática é um valor determinado a partir da máxima tensão que pode atuar em um corpo-de-prova no ensaio de flexão simples, calculado com a hipótese de a madeira ser um material elástico.

O ensaio de flexão é um dos testes mais importantes, pois representa um tipo de esforço ao qual a madeira é submetida em uma série de situações de uso. Na flexão, além da resistência, foi determinada a rigidez da madeira, representada pelo MOE ou módulo de elasticidade.

Os corpos-de-prova de flexão estática e a condução dos ensaios foi orientada pela norma de “Flexão Estática - Qualificação”, adaptada pelo INDEA/MT. Os corpos-de-prova de flexão estática foram produzidos com dimensões de 2 cm x 2 cm x 30 cm. Um detalhe da montagem e realização do ensaio é apresentado na Figura 5.



Figura 5. Detalhe do ensaio de flexão estática.

4.5 Análise dos dados

Em todos os ensaios realizados foram utilizadas seis repetições em cada aferição e procedimento experimental. Para as repetições foram calculadas médias e coeficientes de variação, além de correlações entre parte das variáveis estudadas.

Os resultados obtidos foram também analisados estatisticamente com o auxílio do software ASSISTAT - Versão 7.6 beta, 2011, de uso livre, (disponível em <http://www.assistat.com>).

Nas análises estatísticas foram considerados experimentos inteiramente casualizados para comparação dos tratamentos. As análises de variância e testes de comparação de média de Tukey foram conduzidos ao nível de 5% de significância.

Os resultados obtidos nas ANOVAS e Testes de Tukey foram inseridos no Anexo1.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, Figura 7, Figura 8 e Figura 9 são mostrados os resultados médios, de seis repetições, para as variáveis relativas às propriedades físicas de umidade, densidade aparente, densidade básica e estabilidade dimensional (contração volumétrica).

Na Tabela foram inseridos os valores dos coeficientes de variação entre as repetições consideradas, os resultados da análise estatística (referentes às análises de variância e teste de comparação de médias de Tukey onde ocorreram diferenças significativas) e os coeficientes de correlação linear entre as variáveis.

Tabela 1. Valores médios de umidade de equilíbrio, densidade aparente, densidade básica e variação volumétrica para os tratamentos avaliados*:

Trat.	Umidade Eq. (%)	Dens. Aparente (g/cm ³)	Dens. Básica (g/cm ³)	Variação Vol. (%)
Test.	14,76 (3,10) a	0,58 (12,19) ab	0,45 (10,33) bc	12,62 (9,73) ab
180/15	13,09 (1,66) ab	0,47 (7,03) bde	0,42 (2,09) c	11,16 (14,55) abcd
180/2	10,02 (18,35) de	0,52 (2,72)	0,46 (2,80) bc	10,10 (10,76) abcd
180/4	9,76 (5,96) e	0,50 (6,65) bcde	0,44 (5,48) bc	12,22 (38,88) abc
200/15	11,99 (6,87) bc	0,56 (19,07) abcd	0,47 (16,59) bc	13,03 (35,54) a
200/2	9,60 (4,93) ef	0,47 (4,42) e	0,42 (3,11) c	11,30 (14,12) abcd
200/4	9,95 (5,81) de	0,46 (2,60) e	0,41 (1,18) c	8,70 (10,63) bcde
215/15	12,75 (3,85) bc	0,58 (1,97) abc	0,48 (3,33) abc	11,49 (12,63) abcd
215/2	8,25 (15,06) fg	0,59 (4,32) a	0,54 (12,14) a	9,23 (18,79) bcd
215/4	9,14 (8,60) efg	0,50 (14,45) bcde	0,43 (12,73) c	9,86 (37,79) abcd
230/15	11,32 (3,50) cd	0,51 (7,60) abcde	0,43 (5,47) bc	9,74 (26,17) abcd
230/2	8,06 (10,96) g	0,51 (2,61) abcde	0,46 (1,59) bc	8,12 (29,19) b de
230/4	5,13 (4,04) h	0,54 (9,36) abcde	0,51 (8,59) ab	4,25 (33,90) e
<i>Coeficiente de correlação (R) entre Umidade Eq. e Densidade Aparente</i>				0,19
<i>Coeficiente de correlação (R) entre Umidade Eq. e Densidade Básica</i>				-0,16
<i>Coeficiente de correlação (R) entre Densidade Aparente e Densidade Básica</i>				0,84
<i>Coeficiente de correlação (R) entre Densidade Aparente e Variação Volumétrica</i>				0,28
<i>Coeficiente de correlação (R) entre Densidade Básica e Variação Volumétrica</i>				0,06

* valores entre parênteses referem-se aos coeficientes de variação. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

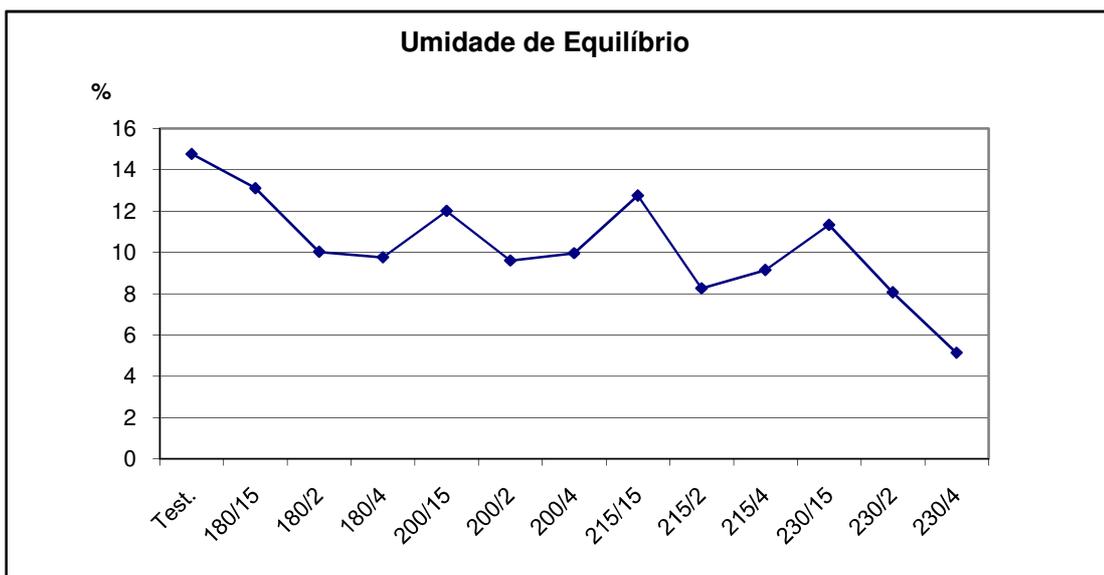


Figura 7. Valores médios de umidade de equilíbrio para os tratamentos.

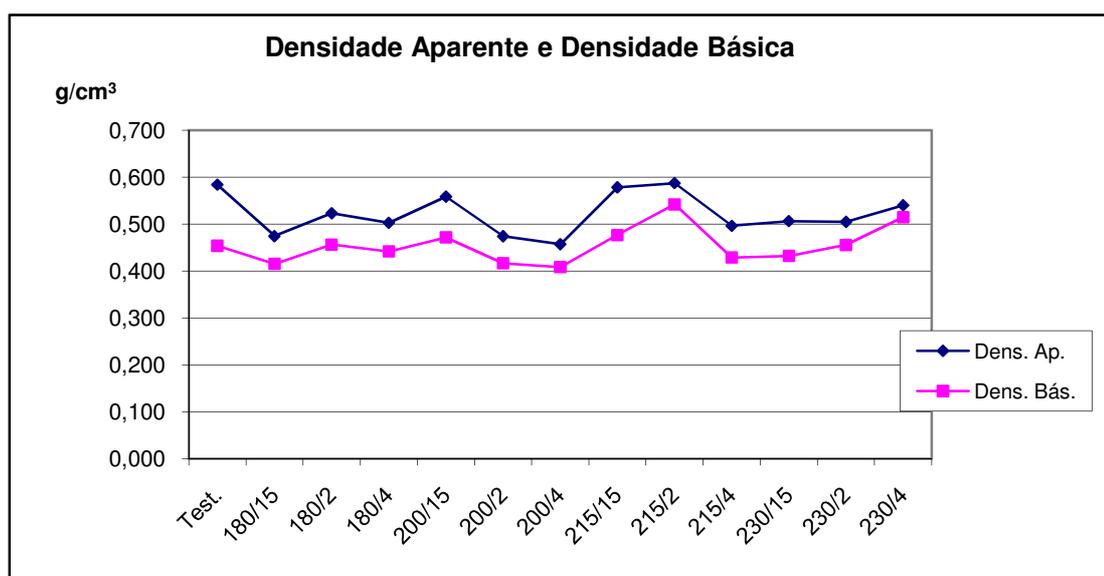


Figura 8. Valores médios de densidade (aparente e básica) para os tratamentos.

A umidade de equilíbrio teve uma tendência clara de redução em função de severidade do tratamento térmico ou de termorretificação aplicada às amostras, indicando que as alterações sofridas pela madeira avaliada, contribuíram significativamente para que a capacidade de absorção da umidade relativa do ambiente pelas peças diminuísse.

A análise estatística dos dados de umidade de equilíbrio mostrou diferenças significativas entre os tratamentos, sendo que os dois tratamentos mais severos, de 230°C, 2 e 4 horas, foram os que apresentaram menor umidade de equilíbrio final após a climatização feita após os tratamentos térmicos.

Houve uma correlação positiva ($R=0,19$), porém não elevada entre os valores de umidade de equilíbrio e a densidade aparente das peças, indicando que não só a umidade influenciou na densidade aparente mas sim outros fatores de variação como a própria massa e as alterações sofridas na termorretificação.

Em relação à densidade básica o coeficiente de correlação negativo, de $-0,16$ não indica correlação que possa ser entendida, pois na determinação da densidade básica os corpos-de-prova são saturados em água o que elimina a fonte de variação “umidade” da determinação da densidade.

Pela diminuição da umidade de equilíbrio em função dos tratamentos também pode-se pressupor uma dificuldade na saturação das amostras em água para determinação da densidade básica, o que pode ter interferido nos procedimentos de sua determinação.

Os valores de densidade básica foram mais uniformes em relação a densidade aparente, mostrando diferenças estatísticas menores entre os tratamentos e também coeficientes de variação, em geral menores, entre as repetições de cada tratamento.

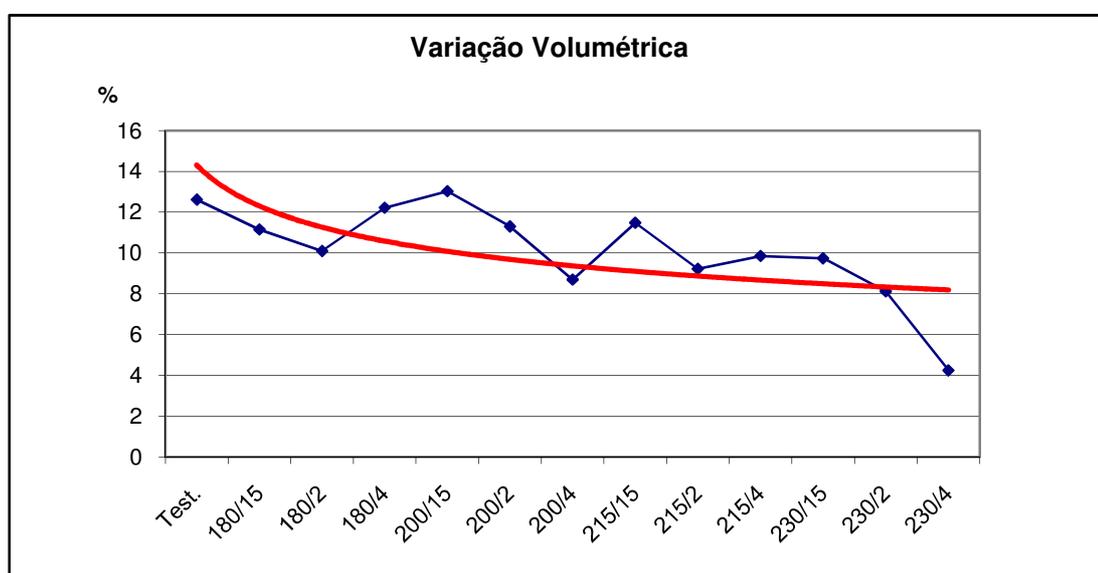


Figura 9. Valores médios de variação volumétrica para os tratamentos.

A maior correlação encontrada entre os dados avaliados foi entre a densidade aparente e a variação volumétrica das amostras, $R=0,28$, fato que não se repetiu entre a correlação da densidade básica e variação volumétrica, embora isto fosse esperado.

Através da linha de tendência traçada na Figura 9 pode-se observar a nítida redução da variação volumétrica, ou instabilidade dimensional, das amostras avaliadas em função do aumento da drasticidade dos tratamentos térmicos.

Este comportamento foi observado por autores como Gouveia (2008) e Calonego (2009), que comentam sobre a degradação das hemiceluloses e os ganhos na estabilidade das peças em função da termorretificação.

Os dois últimos tratamentos demonstraram os maiores ganhos em termos da estabilidade dimensional, sendo que praticamente todos eles, com exceção do 200/15 (200°C por 15 minutos) mostraram valores abaixo da testemunha (amostras sem tratamento térmico).

Apesar da melhor condição em relação à estabilidade dimensional, ou variação volumétrica, também se pressupõe que a resistência mecânica da madeira seja afetada negativamente, o que foi aferido através das análises seguintes.

Na Tabela 2 e Figura 10 foram inseridos os resultados dos ensaios de flexão estática.

Tabela 2. Valores médios do MOR e MOE obtidos nos ensaios de flexão estática*:

Tratamento	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)
Test.	587,16 (9,19) abcd	54031,40 (31,7) a
180/15	583,16 (6,53) abcd	9082,37 (14,59) c
180/2	726,00 (19,61) abc	11861,17 (4,45) bc
180/4	578,49 (21,07) bcd	21289,67 (13,78) bc
200/15	864,94 (14,24) a	26412,63 (8,24) b
200/2	542,81 (39,99) cd	23973,42 (12,60) bc
200/4	591,74 (12,23) abcd	12102,85 (17,56) bc
215/15	681,75 (32,73) abc	20909,18 (19,81) bc
215/2	732,83 (15,84) abc	11773,72 (12,91) c
215/4	669,93 (14,22) abc	23873,80 (7,45) bc
230/15	841,80 (26,42) ab	13214,28 (19,03) bc
230/2	824,47 (16,21) abc	12329,65 (21,83) bc
230/4	314,27 (48,78) d	24090,77 (14,65) bc

* valores entre parênteses referem-se aos coeficientes de variação. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

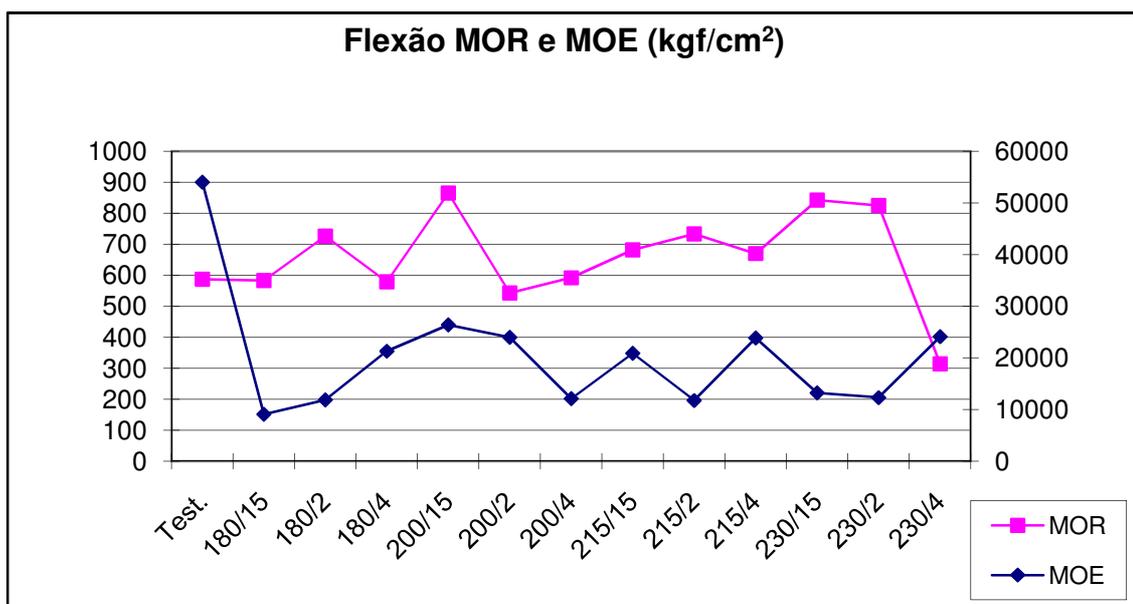


Figura 10. Valores médios referentes ao ensaio de flexão para os tratamentos.

Os valores verificados nos resultados do módulo de ruptura médio (MOR) e no módulo de elasticidade médio (MOE), que indicam a resistência e a rigidez das amostras no ensaio de flexão estática, mostraram uma significativa perda de rigidez a partir dos tratamentos térmicos aplicados.

A rigidez, indicada pelo MOE, ou módulo de elasticidade, é uma importante variável utilizada para caracterização mecânica de madeiras e relaciona-se a capacidade de uma peça sofrer deformações a partir da aplicação de cargas. A rigidez avaliada em ensaios de flexão estática é a mais usual entre as determinações desta variável que pode ser feita ainda em ensaios como os de tração e compressão da madeira.

Em relação à testemunha, os valores do MOE (rigidez) foram muito mais afetados do que a carga final de ruptura, representada pelo módulo de ruptura das peças, ou MOR. O MOR apresentou diferenças menos significativas entre testemunha e tratamentos avaliados, somente o último tratamento, 230°C por 4 horas, é que reduziu o MOR muito significativamente.

Alguns tratamentos apresentaram valores de MOR acima do que foi avaliado nas peças testemunhas, 180/2; 200/15; 215/15; 215/2; 215/4; 230/2 e 230/4.

Com relação ao MOR, notou-se que o tratamento mais drástico, 230°C por 4 horas, o mesmo que apresentou a menor variação dimensional, foi aquele que mais “sofreu” em relação à resistência das amostras, ou seja, onde foi constatada a maior perda de resistência mecânica na flexão.

Na Tabela 3 e Figura 11 foram inseridos os resultados de dureza Janka, nos sentidos perpendicular e paralelo à orientação das fibras.

Tabela 3. Valores médios dos resultados obtidos nos ensaios de dureza Janka no sentido perpendicular e paralelo à orientação das fibras*:

Tratamento	Dureza Janka Perpendicular (kgf)	Dureza Janka Paralela (kgf)
Test.	241,0 (18,98) ab	308,7 (13,39) bc
180/15	278,0 (22,12) ab	470,8 (18,11) a
180/2	182,3 (39,08) ab	334,3 (16,61) abc
180/4	192,5 (33,03) ab	376,2 (33,89) abc
200/15	163,5 (33,13) b	252,2 (9,36) c
200/2	236,7 (23,97) ab	330,0 (12,45) abc
200/4	160,5 (24,66) b	311,5 (16,45) abc
215/15	330,7 (17,97) a	450,7 (3,37) ab
215/2	195,8 (29,21) ab	315,5 (15,53) abc
215/4	188,0 (35,95) ab	400,5 (22,41) abc
230/15	299,5 (13,21) ab	407,8 (4,64) abc
230/2	189,8 (29,29) ab	286,5 (19,55) bc
230/4	193,0 (45,84) ab	276,0 (42,96) c

* valores entre parênteses referem-se aos coeficientes de variação. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

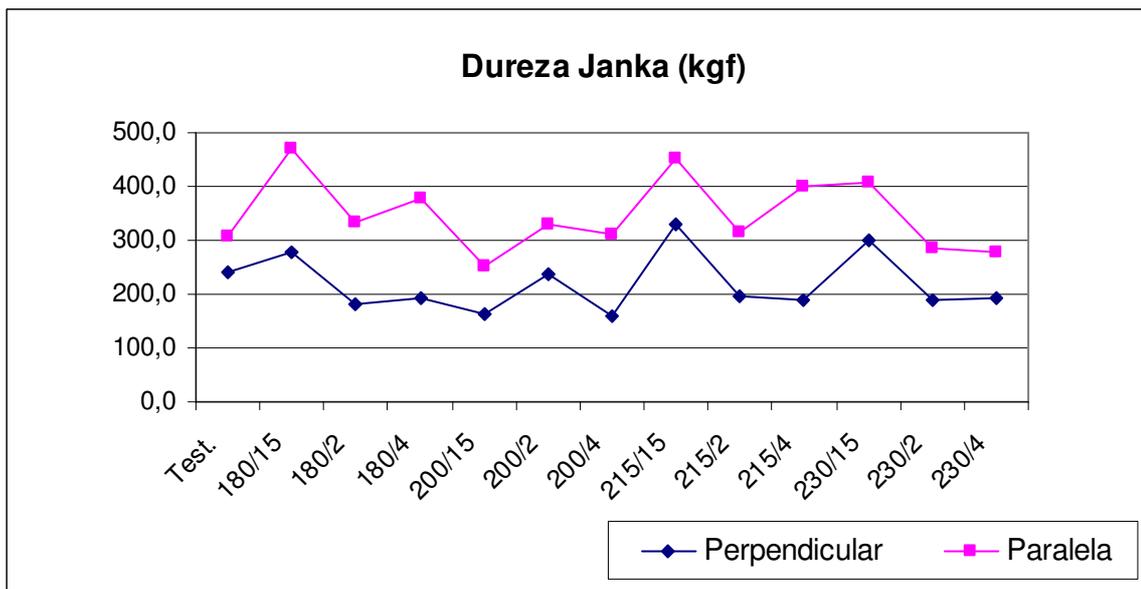


Figura 11. Valores médios referentes ao ensaio de dureza Janka para os tratamentos.

Os resultados indicaram que a dureza Janka não foi significativamente prejudicada pelos tratamentos aplicados de termorreificação. Tanto para o sentido perpendicular às fibras, como para o paralelo às fibras, as amostras avaliadas apresentaram valores de dureza que oscilaram acima e abaixo dos encontrados para a testemunha, diferentemente do que para os demais ensaios mecânicos.

Para a avaliação no sentido perpendicular às fibras; as únicas diferenças estatisticamente significativas foram observadas nos tratamentos 200/15; 200/4 e 215/15, sendo que entre todos os outros não ocorreram diferenças significativas.

A dureza Janka avaliada no sentido paralelo às fibras se mostrou sempre superior à dureza no sentido perpendicular às fibras, fato que não se alterou com os tratamentos térmicos, ou de termorreificação, avaliados.

Também na avaliação da dureza Janka, os valores obtidos no tratamento mais drástico (230°C por 4 horas), também se mostraram abaixo dos verificados na testemunha, mas com menor perda na dureza do que para os ensaios discutidos anteriormente, indicando novamente que, para esta variável, os tratamentos aplicados não reduzem, como nos demais, a propriedade avaliada.

Os resultados indicaram que a dureza Janka não foi severamente prejudicada pelos tratamentos aplicados de termorreificação. Tanto para o sentido perpendicular como para o paralelo às fibras a dureza apresentou valores que oscilaram acima e abaixo dos encontrados para a testemunha, com menores diferenças estatisticamente significativas do que para os demais ensaios mecânicos de flexão estática.

6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados observados neste trabalho foram possíveis as seguintes conclusões:

- para o material de *Eucalyptus grandis* avaliado, a termoretificação melhorou a condição de variação volumétrica da madeira em relação a sua umidade;

- para o material estudado houve significativa perda de resistência para as principais propriedades mecânicas, principalmente nos tratamentos mais drásticos, temperaturas mais elevadas e períodos de tempo mais prolongados;

- a dureza não foi tão afetada pelo tratamento térmico quanto às demais propriedades avaliadas, indicando que para determinados usos, a termoretificação é um processo interessante para a madeira de eucalipto, como por exemplo, o segmento de pisos de madeira, onde a dureza e a estabilidade da madeira são índices de qualidade bastante importantes.

- para utilizações estruturais da madeira, como diversos usos na construção civil, o tratamento térmico da madeira deve ser considerado como um “reduzidor” da resistência das peças, fazendo com que a madeira termoretificada, semelhante à estudada neste trabalho, deva ser utilizada com muito cuidado neste tipo de uso.

- sugere-se a continuidade de trabalhos com o tratamento térmico de peças de madeira, tanto para as demais espécies de eucalipto, assim como para as espécies mais tradicionalmente utilizadas nos segmentos industriais consumidores desta importante matéria-prima.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, S. O. **Propriedades de Madeiras Termorretrificadas**. Viçosa: UFV, 2010. 93 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de estruturas de madeira: **NBR 7190**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 107p.

Associação Brasileira dos Fabricantes de Celulose e Papel – BRACELPA. **Relatório Anual**, 2004.

ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *E. urophylla***. 2004. 133f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BATISTA, D. C. Influência do tempo e temperatura de retificação térmica na umidade de equilíbrio da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis.**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 255-261, jun. 2010

BENJAMIN, C. A. **Estudo da estrutura anatômica e das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *corymbia* (*eucalyptus*) *citriodora* e *Eucalyptus grandis***. 158 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Botucatu, 2006.

BRAZ, Rafael Leite. **Caracterização do lenho de árvores de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em áreas sujeitas a danos por ventos**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira.

CALONEGO, F. W. **Efeito da termorretrificação nas propriedades físicas, mecânicas e na resistência a fungos deterioradores da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex. Maiden**. 2009, 149 p. Tese (Doutorado em Agronomia: Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.

CAMPINHOS, E. A. A importância da produção de madeira de *Eucalyptus* geneticamente melhorado para os setores moveleiro e de construção civil: perspectivas e desafios. In: SEMINÁRIO MADEIRA DE EUCALIPTO: TENDÊNCIA E USOS, 2001, Curitiba. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 2001.

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

CRUZ, C. R. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus* para a utilização na indústria madeireira**. 2000. 64f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

DALMASSO, L. M. **Perspectiva da indústria de painéis de madeira**. Seropédica: UFRRJ, 2011. 20f. Monografia (Conclusão do curso de Engenharia Florestal) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

FARIA, T.T.; ANDRADE, E.G.; CARVALHO, A.M. Avaliação das Propriedades Físico-Mecânicas de *Eucalyptus grandis* Implantado na Região de Pirai/RJ. Parte 1: Ensaio de Umidade, Densidade e Dureza Janka. In: XVII JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – 2008. **Anais...** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de povamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos. **IPEF**, Piracicaba v.4:, p. 65–89, 1972.

GARCIA, R. A.; CARVALHO, A. M.; LATORRACA, J. V. F.; MATOS, J. J. M.; SANTOS, W. A.; SILVA, R. F. M. Nondestructive evaluation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood using stress wave method. **Wood Sci. Technol.**, 2011. Doi: 10.1007/s00226-010-0387-6.

GARCIA R.A.; CLOUTIER A.; RIEDL B. Dimensional Stability of MDF Panels Produced from Heat-Treated Fibres. **Holzforschung** v. 60. P. 278-284, 2006.

GOLVEIA, F. N. **Aplicação de tratamentos térmicos para estabilização colorimétrica de madeira tropicais**. 2008. 124 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília.

HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. (Eds.) **Eucalypts for Wood production**. Melbourne: CSIRO, 1978.

INDEA/MT – Instituto de Defesa Agropecuária do Estado do Mato Grosso. Laboratório de Tecnologia da Madeira, Área Físico-mecânica. **Métodos de Ensaio**. INDEA/MT s/d.

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.

KAMDEM D.P.; PIZZI A.; JERMANNAUD A. 2002. Durability of Heat-Treated Wood. **Holz Roh and Werkstoff**. v. 60. p. 1-6.

LOBÃO, M.S.; DELLA LÚCIA, R.M.; MOREIRA, M.S.S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **R. Árvore**, v. 28, n.6, p. 889-894, 2004.

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.

MOURA, M. C. O. **Variações em características de crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus***. Dissertação (Mestrado em Produção Florestal), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.63P.

OLIVEIRA, J. T. O. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 2v. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

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

PINCELLI, A. L. P. S. M. **Efeito da termorretificação 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.

POLBEL, D. da S. **Efeito da termorretificação nas propriedades tecnológicas da madeira normal e de compressão de *pinus caribaea* morelet**. Seropédica: UFRRJ, 2011. 29f. Monografia (Conclusão de curso de Engenharia Florestal) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

PONCE, R. H. Madeira Serrada de Eucalipto: desafios e perspectivas. In: **SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA**, São Paulo, p.50-8. 1995.

SILVA FILHO, D. F.; Rocha, J. S.; Moura, J. B. Influência da densidade na dureza Janka em oito espécies madeireiras da Amazônia central. **Acta Amazonica**, v.22, n.2, p.275-283, 1992.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden de diferentes idades, visando sua utilização na indústria moveleira**. Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SORIANO, J. et al. Aplicações do método de ensaio esclerométrico em peças de eucalipto *saligna* sm. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.322–328, dez. 2010

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: Structure, properties and utilization**. New York, : Van Nostrand Reinold, 1991, 494p.

VIITANIEMI P.; JÄMSÄ S. 1994. Modification of Wood with Heat Treatment. VTT Research Report Publications 814, Espoo, Finland. In Nuopponen M.; Vuorinen T.; Jämsä S.; Viitaniemi P. 2003. The Effects of a Heat Treatment on the Behaviour of Extractibles in Softwood Studied by FTIR Spectroscopic Methods. **Wood Sci. Technol.** 37: 109-115.

ANEXO 1

(resultados da análise estatística dos dados, ANOVAS e Testes de Tukey gerados pelo software ASSISTAT - Versão 7.6 beta (2011), disponível em <http://www.assistat.com>)

Tabela 4. Análise de variância para os dados de umidade de equilíbrio:

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	12	410.28800	34.19067	51.5728 **
Resíduo	83	55.02559	0.66296	
Total	95	465.31358		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns não significativo

Tabela 5. Resultados do Teste de Tukey para os dados de umidade de equilíbrio:

Médias de tratamento

1	14.76000	a
2	13.10000	ab
3	10.02000	de
4	9.75538	e
5	11.99727	bc
6	9.60000	ef
7	9.95400	de
8	12.74857	bc
9	8.25429	fg
10	9.13750	efg
11	11.32167	cd
12	8.06167	g
13	5.13250	h

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 6. Análise de variância para os dados de densidade aparente:

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	12	0.15631	0.01303	4.8376 **
Resíduo	83	0.22348	0.00269	
Total	95	0.37979		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade
 ns não significativo

Tabela 7. Resultados do Teste de Tukey para os dados de densidade aparente:

Médias de tratamento	
1	0.58420 ab
2	0.47460 b de
3	0.52317 abcde
4	0.50277 bcde
5	0.55873 abcd
6	0.47433 e
7	0.45720 e
8	0.57857 abc
9	0.58743 a
10	0.49650 bcde
11	0.50650 abcde
12	0.50500 abcde
13	0.54050 abcde

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 8. Análise de variância para os dados de densidade básica:

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	12	0.11883	0.00990	5.5599 **
Resíduo	83	0.14783	0.00178	
Total	95	0.26666		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade
 ns não significativo

Tabela 9. Resultados do Teste de Tukey para os dados de densidade básica:

Médias de tratamento		
1	0.45380	bc
2	0.41520	c
3	0.45633	bc
4	0.44177	bc
5	0.47164	bc
6	0.41667	c
7	0.40840	c
8	0.47671	abc
9	0.54214	a
10	0.42900	c
11	0.43233	bc
12	0.45567	bc
13	0.51475	ab

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 10. Análise de variância para os dados de variação volumétrica:

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	12	372.85877	31.07156	5.9026 **
Resíduo	83	436.91646	5.26405	
Total	95	809.77522		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade
 ns não significativo

Tabela 11. Resultados do Teste de Tukey para os dados de variação volumétrica:

Médias de tratamento		
1	12.61600	ab
2	11.15600	abcd
3	10.10333	abcd
4	12.22231	abc
5	13.03000	a
6	11.30111	abcd
7	8.70000	bcde
8	11.48571	abcd
9	9.22714	bcd
10	9.85917	abcd
11	9.74000	abcd
12	8.12167	b de
13	4.24750	e

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 12. Análise de variância para os dados de MOR (kgf/cm²) na flexão estática:

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	12	1594171.53380	132847.62782	6.4164 **
Resíduo	61	1262972.94786	20704.47456	
Total	73	2857144.48166		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade
 ns não significativo

Tabela 13. Resultados do Teste de Tukey para os dados de MOR (kgf/cm²) na flexão estática:

Médias de tratamento			
1	587.24320	abcd	
2	583.27760	abcd	
3	726.29280	abc	
4	578.68900	bcd	
5	865.22920	a	
6	542.99890	cd	
7	591.94530	abcd	
8	681.98620	abc	
9	733.17590	abc	
10	670.12350	abc	
11	842.11560	ab	
12	824.78050	abc	
13	314.41250	d	

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 14. Análise de variância para os dados de MOE (kgf/cm²) na flexão estática:

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	12	12534313021.40	1044526085.12	20.0613 **
Resíduo	61	3176065457.638	52066646.8465	
Total	73	15710378479.03		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade
 ns não significativo

Tabela 15. Resultados do Teste de Tukey para os dados de MOE (kgf/cm²) na flexão estática:

Médias de tratamento		
1	54031.40000	a
2	9082.37500	c
3	11861.17000	bc
4	21298.67000	bc
5	26412.63000	b
6	23973.42000	bc
7	12102.85000	bc
8	20909.18000	bc
9	11773.72000	c
10	23873.80000	bc
11	13214.28000	bc
12	12329.65000	bc
13	24090.77000	bc

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 16. Análise de variância para os dados de dureza Janka (kgf) no sentido perpendicular às fibras:

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	12	141296.31884	11774.69324	3.2559 **
Resíduo	56	202519.33333	3616.41667	
Total	68	343815.65217		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade
 ns não significativo

Tabela 17. Resultados do Teste de Tukey para os dados de dureza Janka (kgf) no sentido perpendicular às fibras:

Médias de tratamento		
1	241.00000	ab
2	278.00000	ab
3	182.25000	ab
4	192.50000	ab
5	163.50000	b
6	236.66670	ab
7	160.50000	b
8	330.66670	a
9	195.83330	ab
10	188.00000	ab
11	299.50000	ab
12	189.75000	ab
13	193.00000	ab

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 18. Análise de variância para os dados de dureza Janka (kgf) no sentido paralelo às fibras:

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	12	252882.83536	21073.56961	4.1848 **
Resíduo	56	282001.41333	5035.73952	
Total	68	534884.24870		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade
 ns não significativo

Tabela 19. Resultados do Teste de Tukey para os dados de dureza Janka (kgf) no sentido paralelo às fibras:

Médias de tratamento		
1	308.70000	bc
2	470.75000	a
3	334.25000	abc
4	376.15000	abc
5	252.16670	c
6	330.00000	abc
7	311.50000	abc
8	450.66670	ab
9	315.50000	abc
10	400.48330	abc
11	407.75000	abc
12	286.50000	bc
13	276.00000	c

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

* * *