



INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**COLORIMETRIA DA MADEIRA TERMORRETIFICADA DE  
*Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden**

JULIANA DE OLIVERA LOPES

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rosilei Aparecida Garcia

SEROPÉDICA, RJ  
Janeiro – 2010



INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**COLORIMETRIA DA MADEIRA TERMORRETIFICADA DE  
*Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden**

JULIANA DE OLIVEIRA LOPES

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

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rosilei Aparecida Garcia

SEROPÉDICA, RJ  
Janeiro – 2010



INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**COLORIMETRIA DA MADEIRA TERMORRETIFICADA DE  
*Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden**

JULIANA DE OLIVEIRA LOPES

Monografia aprovada em 12 de janeiro de 2010.

Banca examinadora:

---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Rosilei Aparecida Garcia  
DPF/ IF/ UFRRJ (Orientadora)

---

Prof. Dr. Heber dos Santos Abreu  
DPF/ IF/ UFRRJ (Membro Titular)

---

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

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela minha existência e por todas as bênçãos que realiza em minha vida.

A minha família; aos meus pais Maria e José, por toda dedicação e por todo amor. Ao meu irmão Rogério, por me apoiar sempre e acreditar em mim e pela vida da pessoa que mais amo hoje, meu sobrinho Leonardo.

Ao meu melhor amigo da Rural, que hoje é meu namorado, obrigada André, por todo seu apoio, carinho, companheirismo, dedicação, proporcionando-me muitos e muitos momentos felizes, é um anjo que esteve presente em todos momentos mais difíceis.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por me tornar uma Engenheira Florestal e proporcionar tantos momentos de felicidades, pela turma maravilhosa 2005/I, a qual vivenciamos tantas histórias, que vai deixar saudades, mas sempre será recordada com muito carinho e uma das grandes responsáveis para que eu chegasse até aqui.

A Universidade de Brasília-UnB, aos professores Joaquim Gonzalez e José Arlete que me receberam com muito carinho e pela atenção. Ao funcionário Juracy, pela sua dedicação. Ao meu grande amigo Thiago e sua mulher Hellen pela hospedagem em Brasília e pelo carinho.

A minha orientadora Rosilei pela orientação, por toda atenção, dedicação e amizade, e por abrir as portas para meu primeiro estágio na Rural.

Ao funcionário Mendes, pela sua atenção.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar a variação da cor da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden termorretificada, sob diferentes condições de temperatura (180°C, 200 °C, 215°C e 230°C) e tempo (15 minutos, 2 e 4 horas). As análises de colorimetria foram realizadas através do sistema CIE-L\*a\*b\* com o auxílio do espectrofotômetro Color Eye XTH-X-Rite 200d. O tratamento realizado na condição mais severa de temperatura e tempo (230°C por 4 horas) apresentou os menores valores para as coordenadas L\*, a\*, b\*, caracterizando uma cor marrom-escura enquanto que os demais tratamentos foram caracterizados com uma cor marrom-clara. As análises de colorimetria mostraram um escurecimento da madeira após a termorretificação, afetando assim a sua aparência, a qual pode agregar maior valor a madeiras de baixo valor comercial.

**Palavras chaves:** colorimetria, *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, sistema CIE-L\*a\*b\*, termorretificação.

## ABSTRACT

The objective of this work was to determine the colour variation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden wood, under different temperatures (180, 200, 215 and 230°C) and time conditions (15 minutes, 2 and 4 hours). The colour analysis were performed by the CIE-L\*a\*b\* system using the Color Eye XTH-X-Rite 200d spectrofotometer. The treatment realized at more severe conditions of temperature and time (230°C for 4 hours) presented the lower values for L\*, a\*, b\* coordinates, characterizing a dark-brown color while the other treatments had a brown color. The colorimetry analysis showed a darkening of wood following heat treatment, affecting its appearance, which can added value to woods of low comercial value.

**Key words:** colorimetry, *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, CIE-L\*a\*b\* system, heat treatment.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	2
2.1 Métodos de termorretificação .....	2
2.2 Propriedades e características da madeira termorretificada .....	3
2.3 Cor da madeira.....	4
2.4 Colorimetria no sistema CIE-L*a*b*.....	5
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	6
3.1 Material e tratamento de termorretificação .....	6
3.2 Determinação da cor no sistema CIE-L*a*b* .....	7
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	7
5. CONCLUSÕES .....	14
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	14
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	15
ANEXO .....	19

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Espaço de cor tridimensional do sistema CIE-L\*a\*b\*. A coordenada L\* representa a luminosidade. As coordenadas a\* e b\* concedem a cor das medições (coordenadas cromáticas). As coordenadas C\* e h representam a saturação e o ângulo de coloração, respectivamente (adaptado de Johansson, 2005) ..... 6
- Figura 2.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada L\* no plano longitudinal radial ..... 9
- Figura 3.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada L\* no plano longitudinal tangencial ..... 9
- Figura 4.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada a\* no plano longitudinal radial ..... 10
- Figura 5.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada a\* no plano longitudinal tangencial ..... 10
- Figura 6.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada b\* no plano longitudinal radial ..... 11
- Figura 7.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada b\* no plano longitudinal tangencial ..... 11
- Figura 8.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada C\* no plano longitudinal radial ..... 12
- Figura 9.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada C\* no plano longitudinal tangencial ..... 12
- Figura 10.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada h no plano longitudinal radial..... 13
- Figura 11.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada h no plano longitudinal tangencial ..... 13

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Resultados obtidos para as análises estatísticas descritivas (média e desvio padrão) para a colorimetria no sistema CIE-L\*a\*b\* da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden nos planos longitudinais radial e tangencial ..... 8
- Tabela 2.** Grupos de cores obtidos no agrupamento de Cluster usando as variáveis cromáticas L\*, a\*, b\*, C\* e h (adaptado de Camargos, 1999) ..... 19

## 1. INTRODUÇÃO

Devido à sua natureza higroscópica, a madeira ganha ou perde água de acordo com a umidade relativa do ar, resultando em alterações dimensionais importantes e limitando o uso de certas espécies para os mais diversos fins onde a estabilidade dimensional é considerada um fator importante. Desta forma, existe a necessidade de realizar estudos sobre tratamentos físicos-químicos que possam reduzir estas alterações dimensionais ocasionadas pelos fenômenos de contração e inchamento resultantes das variações na quantidade de água higroscópica presente nas paredes celulares, ou seja, na perda ou ganho de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (cerca de 28% de umidade em base seca) (Forest Products Society, 1999).

Um dos tratamentos físico-químicos mais utilizados atualmente é a termorretificação. A madeira termorretificada é obtida por um processo de termodegradação, no qual seus constituintes se degradam, geralmente na ausência de oxigênio, ou forte deficiência de ar, podendo portanto ser considerada como um produto de uma pirólise controlada, interrompida antes de atingir o patamar das reações exotérmicas (as quais se iniciam aproximadamente à temperatura de 280°C), quando se inicia a combustão espontânea da madeira (Borges & Quirino, 2004).

Quirino & Vale (2002), analisando as possíveis modificações da madeira termorretificada, afirmam que a maior estabilidade dimensional advém devido à redução na higroscopicidade, pela degradação do constituinte mais higroscópico que é a hemicelulose, pela quebra dos polímeros da lignina e pelo surgimento de novas ligações químicas entre eles, sendo este fenômeno denominado reticulação.

A termorretificação é utilizada com diversas finalidades, entre elas: conferir maior dureza superficial, maior resistência à degradação fúngica e maior estabilidade dimensional. Ao reduzir a capacidade da madeira de permutar água com o meio, minimiza problemas de contração e inchamento (Borges & Quirino, 2004).

Dentre as utilizações da madeira termorretificada pode-se citar: revestimentos, instalações de paredes à prova de som, assoalhos, terraços, móveis para jardim, batentes de porta e janela, parquet, móveis residenciais, decorações, e inclusive na fabricação de instrumentos musicais, em que a estabilidade garante propriedades acústicas consistentes. Segundo Duchez & Guyonnet (2002), quando fragmentada, a madeira termorretificada pode ainda ser usada na manufatura de materiais compostos em associação com vidro, fibras de vidro e materiais colantes, tais como gesso e cimento.

Além da alta durabilidade e alta estabilidade dimensional, o tratamento agrega outras características à madeira tratada, entre elas a alteração da sua cor original. A cor da madeira é uma propriedade muito importante para sua aceitação, já que é uma das características de maior impacto visual. Por esta razão, a termorretificação tem sido utilizada para agregar maior valor à espécie de baixo valor comercial. Na Europa, o tratamento de termorretificação é utilizado para o escurecimento de madeiras claras, de baixo valor comercial, tornando-as mais próximas da coloração das madeiras tropicais, as quais são mais escuras e consideradas de alto valor no mercado, processo denominado “tropicalização”.

Atualmente, o método mais eficaz para a determinação da cor da madeira consiste na utilização de aparelhos apropriados, podendo ser um colorímetro ou um espectrofotômetro, os quais utilizam o sistema CIE-L\*a\*b\*, o qual por sua vez é caracterizado por um sistema de coordenadas de cor tridimensional, sendo elas: a luminosidade (L\*) que varia de 0 (preto) a 100% (branco) e as coordenadas cromáticas a\*

(verde-vermelho) e  $b^*$  (azul-amarelo). Segundo Nishino et al. (1998), o sistema CIE- $L^*a^*b^*$ , tem sido utilizado para avaliar a cor da madeira, por exemplo, para determinar a degradação desse material por meio da mudança de cor, para detectar a presença de nós na madeira, para analisar a cor da madeira após tratamentos de termorreificação, entre outros usos.

A colorimetria da madeira termorreificada também é importante porque pode ser usada para prever as propriedades da madeira, como as propriedades físicas (perda de massa), propriedades mecânicas (resistência mecânica) e a ocorrência ou não de alterações químicas (Bekhta & Niemz, 2003; Johansson & Morén, 2006).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é determinar a variação da cor da madeira termorreificada de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, sob diferentes condições de temperatura e tempo, através do método CIE- $L^*a^*b^*$ .

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Métodos de termorreificação

As pesquisas e patentes relacionadas à melhoria da durabilidade e da estabilidade dimensional da madeira utilizando apenas o calor, foram apresentadas durante a primeira metade do século passado (Stamm & Hansen, 1937; Stamm et al., 1946). Durante os anos noventa, a necessidade de se elaborar novas alternativas atrativas para atender as exigências crescentes no mercado por madeiras mais estáveis e, conseqüentemente, de maior valor agregado aumentou a importância do emprego de tratamentos térmicos no material. Desta forma, surgiram vários processos, sendo alguns deles patenteados e comercializados na Europa, sendo eles: THERMOWOOD<sup>®</sup> na Finlândia, PLATO<sup>®</sup> WOOD na Holanda, Retification<sup>®</sup> e Bois Perdure na França e Oil Heat Treatment (OHT) na Alemanha (Homan et al., 2000; Rapp, 2001; Waskett & Semes, 2001; Alén et al., 2002; Momohara et al., 2003; Rousset et al., 2004; e Metsäs-Kortelainen et al., 2005). As principais diferenças entre esses tratamentos são a temperatura máxima aplicada, o uso ou não de atmosfera inerte com nitrogênio ou com vapor, o uso de óleos e/ou se o processo é adequado para a madeira seca ou úmida. Abaixo, são apresentados as etapas destes principais processos:

(1) THERMOWOOD<sup>®</sup>: processo desenvolvido pela VTT na Finlândia. Este tratamento é baseado no aquecimento a altas temperaturas (150°C a 250°C) utilizando-se vapor de água como gás protetor. O processo consiste de três fases, sendo elas: (1) período de aumento da temperatura: utiliza-se uma temperatura preliminar de 100°C, a qual pode perdurar por até 48 horas. A secagem do material pode ser inserida neste período e o teor de umidade da madeira não deve ser inferior a 10%; (2) aquecimento: utiliza-se uma temperatura constante (entre 150°C e 240°C) por períodos de 0,5 à 4 horas, dependendo da espécie de madeira e da qualidade desejada do produto; e (3) resfriamento e estabilização: decréscimo da temperatura até a temperatura ambiente, fase que dura aproximadamente 24 horas (Syriänen, 2001; Jamsa & Viitaniemi, 2001; Metsäs-Kortelainen et al., 2005).

(2) Retification<sup>®</sup> (bois retifié): processo desenvolvido pela École des Mines de Saint-Etienne (França) e cuja patente foi adquirida pela Companhia NOW (New Option Wood).

Este processo consiste em submeter a madeira previamente seca (12% de umidade) à temperaturas de 210 a 240°C, e atmosfera com alta concentração de nitrogênio e apenas 2% de oxigênio (Vernois, 2001; Metsäs-Kortelainen et al., 2005).

(3) Bois Perdure: processo desenvolvido pela Companhia BCI-MBS e consiste em secar artificialmente a madeira verde e em seguida aquecer à temperaturas de até 230°C, sob atmosfera com vapor (Vernois, 2001; Metsäs-Kortelainen et al., 2005).

(4) PLATO<sup>®</sup> WOOD: este processo utiliza madeira verde, pois a abundância de água na parede celular provoca o aumento da reatividade dos componentes químicos da madeira, e é composto por três fases: (1) hidrotermólise da madeira: aquecimento da madeira verde entre 160 e 190°C, durante 4 a 5 horas; (2) secagem convencional da madeira tratada por 3 a 5 dias, até que a madeira atinja 10% de umidade; e (3) cura da madeira modificada: aquecimento da madeira, sob temperaturas de 170 a 190°C por 14 a 16 horas.

(5) Oil Heat Treatment-OHT: processo realizado pela MENZ HOLZ na Alemanha, e consiste na utilização de óleo aquecido entre 180°C e 220°C que circula, durante 2 a 4 horas, em torno de cargas de madeira acondicionadas no interior de uma autoclave sem aplicação de pressão.

## 2.2 Propriedades e características da madeira termorretificada

Os estudos sobre o efeito da termorretificação nas propriedades mecânicas da madeira mostram que há um decréscimo na sua resistência mecânica em função da perda de massa provocada pelos tratamentos térmicos. Entretanto, os artigos são contraditórios com relação ao efeito da termorretificação na rigidez da madeira. Alguns autores afirmam que há um aumento da espessura da região cristalina da celulose, que é capaz de impedir a diminuição da rigidez do material devido à perda de massa, outros mostram que a perda de massa acentuada, provocada pela termorretificação, é suficiente para reduzir o módulo de elasticidade das madeiras.

Além disso, inúmeros trabalhos mostram que esse tratamento é usado para melhorar a estabilidade dimensional e a durabilidade biológica das madeiras devido à degradação térmica do seu constituinte mais hidrofóbico, as hemiceluloses, e as novas interações químicas entre os polímeros da lignina e de celulose e os produtos gerados da degradação térmica.

A madeira termorretificada apresenta melhorias em suas propriedades físicas e em sua durabilidade biológica quando comparada à madeira não tratada. Syrjänen (2001) afirma que a propriedade mais importante da madeira tratada termicamente é a redução do seu teor de umidade de equilíbrio e a, conseqüente melhora na contração e no inchamento do material, quando comparado à madeira não tratada.

Weiland & Gyonnet (2003), Rousset et al. (2004) e Wikberg & Maunu (2004) afirmam que a madeira termorretificada apresenta aumento significativo na estabilidade dimensional devido à redução da higroscopicidade, 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 tratamento. Madeiras de *Pinus* sp., *Picea abies* Karst. e *Betula pendula* Roth. quando submetidas ao tratamento térmico apresentaram reduções de 50% nos teores de umidade de equilíbrio higroscópico, devido à diminuição dos sítios de adsorção da parede celular e, conseqüentemente, uma melhora na estabilidade dimensional em torno de 50 a 90% (Jämsä & Viitaniemi, 2001).

O tratamento também ocasiona perda de massa na madeira. Hakkou et al. (2005) afirmam que a madeira de *Fagus sylvatica* L. termorretrificada durante 8 horas, sob temperatura de 180°C, apresentou perda de massa em torno de 7%. Com o aumento da temperatura, houve um aumento progressivo da perda de massa até um valor máximo de 35% na madeira tratada à 260°C.

A termorretrificação aumenta a resistência da madeira ao ataque de fungos, pois o tratamento altera a composição química da madeira e promove a indisponibilidade de alimentos (hemiceluloses) aos fungos, reduz o teor de umidade de equilíbrio, promove a criação de novas moléculas livres que atuam como fungicidas, além de reticular a rede de lignina dificultando o reconhecimento do substrato pelos fungos (Vernois, 2001; Weiland & Guyonnet, 2003). Momohara et al. (2003) trataram o cerne da madeira de *Cryptomeria japonica* D. Don., entre 105°C e 150°C por períodos de 6 a 72 horas, e concluíram que quanto maior o tempo e a temperatura de tratamento melhor foi a resistência da madeira ao fungo *Fomitopsis palustris*. A perda de massa, mediante ao ataque de fungo durante 8 semanas em condições de laboratório, foi de 30% para a madeira controle e de 10% para a madeira tratada à 150°C, durante 24 horas.

A redução da resistência mecânica da madeira depende do seu teor de umidade, da espécie da madeira e das condições de temperatura e tempo de aquecimento. Em geral, as propriedades mecânicas da madeira decrescem com o aquecimento e aumentam com o resfriamento (Bodij & Jayne, 1982; Haygreen & Bowyer, 1996; Forest Products Laboratory, 1999; Thiam et al., 2002). Thiam et al. (2002) compararam o efeito da secagem convencional, com temperatura máxima de 82°C, e da secagem à alta temperatura à 116°C, sobre a resistência mecânica da madeira de *Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg. e, observaram um pequeno decréscimo, não significativo, de 1,2% no MOE, uma redução significativa de 4,7% no MOR em flexão e uma redução significativa de 6,4% na resistência ao cisalhamento entre as madeiras secas em estufa convencional e à alta temperatura. Yilgor et al. (2001) verificaram que tábuas de *Fagus orientalis* L. vaporizadas à 80°C, durante 100 horas, apresentaram uma redução permanente em torno de 16,5% e de 13,2% na rigidez e na resistência à compressão paralela às fibras, respectivamente.

Como pode ser verificado o tratamento de termorretrificação agrega alterações físicas, mecânicas e químicas à madeira tratada. Além dessas propriedades, o tratamento também causa alterações na cor original da madeira. Com o tratamento térmico, a cor da madeira é modificada adquirindo uma tonalidade mais escura e que muitas vezes é justificada pela formação de produtos resultantes da degradação das hemiceluloses (Sehistedt-Persson, 2003; Sundqvist, 2004) e de outros componentes, como os extrativos, que também contribuem para a formação da cor da madeira (McDonald et al., 1997). A oxidação de produtos como quinonas também é referido como razão para mudança da cor da madeira (Tjeerdsma et al., 1998; Mitsui et al., 2001; Bekhta & Niemz, 2003).

### **2.3 Cor da madeira**

A cor é um atributo que causa impacto visual se sobrepondo aos demais atributos que caracterizam um produto, já que este elemento é um dos primeiros contatos que se tem de uma matéria, podendo indicar de forma imediata sua finalidade e aceitação ou não da mesma. No caso da madeira, a cor tem essa importância, por ser a propriedade organoléptica que quando associada a outros aspectos como textura e desenho facilita a identificação e indicação de usos da madeira (Gonçalves & Macedo, 2003).

A cor da madeira é muito instável, podendo ser alterada por vários fatores, tais como: reações fotoquímicas dos elementos que compõem sua estrutura, variações climáticas (teor de umidade e temperatura) e práticas silviculturais (Janin, 1995).

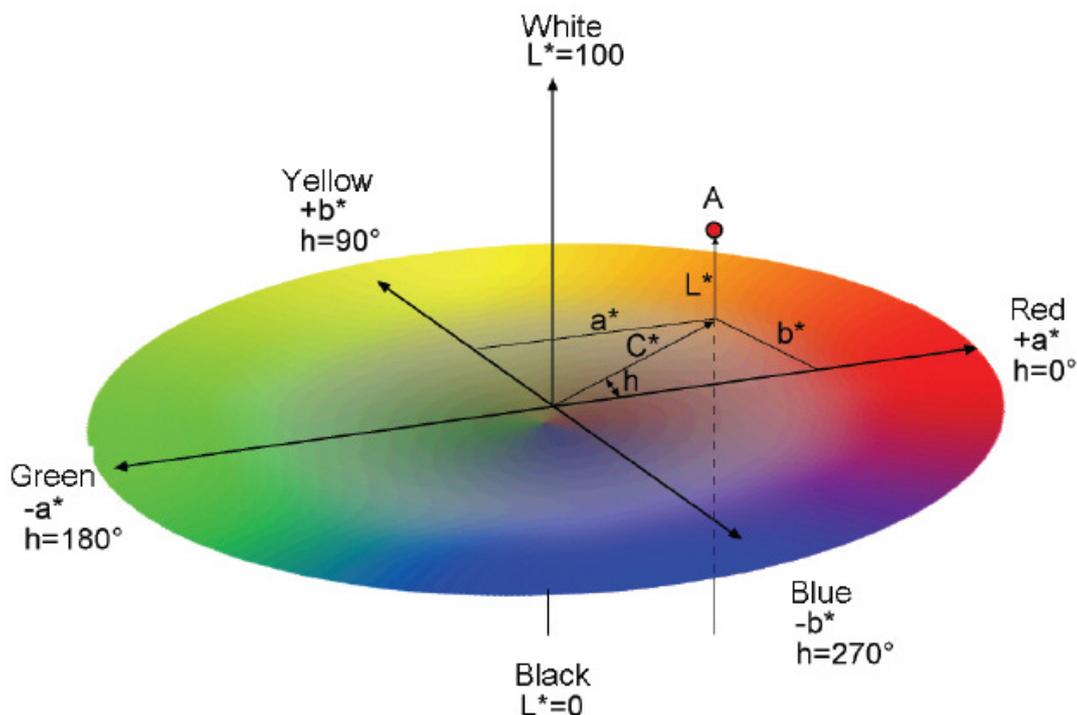
Segundo Mady (2000), a cor da madeira deriva da composição química da madeira presente no xilema: polifenóis, flavonóides, estilbenos, quinonas, dentre outros, conferindo cores diferenciadas ao lenho. As características anatômicas, tais como camadas de crescimento, vasos, raios e tipos de parênquima axial também influenciam na cor da madeira.

A ação de múltiplos agentes externos nos componentes estruturais e extrativos da madeira (Hon & Chang, 1985), especialmente as radiações ultravioletas, que provocam a deterioração dos seus elementos constitutivos, destacando-se a lignina, resultam na mudança de sua coloração (Rowell, 1990). Ao longo do tempo, a madeira pode se tornar mais escura ou mais clara, devido a presença de extrativos na parede celular e sua exposição a ação da luz ou calor. A secagem em estufa e a degradação provocada pelo ataque de organismos xilófagos também se destacam como indicadores nas alterações da cor da madeira. A secagem, geralmente realizada entre 60°C e 100°C pode escurecer a madeira, e esta alteração na cor pode ser ainda mais intensa quando este material é submetido a temperaturas superiores. A termorreificação, a qual corresponde a um tratamento térmico da madeira a temperaturas próximas a 200°C, pode causar um escurecimento marcante na madeira.

#### **2.4 Colorimetria no sistema CIE-L\*a\*b\***

A colorimetria é o método mais eficaz para a medição da cor da madeira. Um dos primeiros métodos de determinação de cor foi a utilização da tabela “Munsell Soil Color Chart” (Munsell, 1975). Apesar de muito difundido, esse sistema de determinação de cor para madeira é ineficiente, principalmente quando se tem amostras de madeiras de cores extremamente parecidas levando a uma única classificação de cor para materiais diferentes. Estudos sobre a madeira de *Liquidambar* L. demonstrou a ineficácia deste método, pois as madeiras ficam limitadas a uma certa parte das cores da tabela Munsell, sendo muito difícil de comparar visualmente um padrão de cor homogêneo com uma amostra de madeira heterogênea (Davis & Beals, 1997).

A colorimetria descreve cada elemento da composição de uma cor numericamente por meio de um aparelho apropriado, podendo ser o colorímetro ou o espectrofotômetro. Recentemente, um dos sistemas mais utilizados para medição de cores é o CIE-L\*a\*b\*, o qual trabalha de acordo com a Norma CIE «Commission International de L'Éclairage» e é caracterizado por três diferentes coordenadas (L\*, a\* e b\*) em um espaço de cor tridimensional tal como ilustrado na Figura 1 (Johansson, 2005). A axe L\* representa a luminosidade ou brilho, a qual varia de zero (preto absoluto) a 100 (branco absoluto), enquanto que a\* e b\* representam as coordenadas cromáticas. A coordenada a\* posiciona a cor do objeto no eixo verde-vermelho enquanto que a coordenada b\* descreve a cor do objeto no eixo amarelo-azul. No diagrama CIE-L\*a\*b\*, os sinais positivos e negativos significam: +a\* aumento na cor vermelha, -a\* aumento na cor verde, +b\* aumento na amarela e -b\* aumento na cor azul (Silva et al., 2007).



**Figura 1.** Espaço de cor tridimensional do sistema CIE-L\*a\*b\*. A coordenada L\* representa a luminosidade. As coordenadas a\* e b\* concedem a cor das medições (coordenadas cromáticas). As coordenadas C\* e h representam a saturação e o ângulo de coloração, respectivamente (adaptado de Johansson, 2005).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Material e tratamento de termorretificação

Foram utilizadas árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden de 23 anos de idade, provenientes de plantios com espaçamento entre árvores de 3 x 2 m e sem tratamentos silviculturais, da empresa Quimvale Florestal Ltda, na cidade de Piraí, localizada na Região Sul do Rio de Janeiro. A partir das toras foram obtidas tábuas com dimensões 200 x 12 x 5 cm (comprimento x largura x espessura), as quais foram processadas na serraria LPZ Artefatos de Madeira Ltda e secas ao ar por dois meses no Laboratório de Secagem de Madeira do Departamento de Produtos Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-UFRRJ (Seropédica, Rio de Janeiro). As tábuas foram redimensionadas e amostras medindo 400 x 120 x 50 mm (comprimento x largura x espessura) foram submetidas ao tratamento de termorretificação sob diferentes condições de temperatura e tempo. O tratamento de termorretificação foi realizado em uma estufa ELETROLab<sup>®</sup>, modelo 403, com capacidade de 0,1 m<sup>3</sup>, dimensões internas e externas de 90 x 98 x 55 cm e 50 x 50 x 40 cm, respectivamente, disponível no Laboratório de Secagem de madeira (Departamento de Produtos Florestais, IF, UFRRJ). As amostras foram termorretificadas a 180°C, 200°C, 215°C e 230°C por períodos de 15 minutos, 2 e 4 horas. As amostras foram condicionadas a 20°C e 65% de umidade relativa em uma sala de climatização até atingir teor de umidade de equilíbrio e redimensionadas para as medições de cor.

### 3.2 Determinação da cor no sistema CIE-L\*a\*b\*

A cor das madeiras termorretificadas e não tratadas foi determinada a partir de amostras com 5 x 5 x 5 cm obedecendo o sistema CIE-L\*a\*b\*. Utilizou-se um espectrofotômetro Color Eye XTH-X-Rite 200d, com iluminante D65 e ângulo de 10°, em temperatura ambiente (22°C) e umidade relativa do ar de 60%, acoplado a um microcomputador. As análises de colorimetria foram realizadas no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade de Brasília-UnB (Brasília-DF). Foram efetuadas 20 observações para cada tratamento de termorretificação e para o controle (sem tratamento). As medições foram feitas nas faces radial e tangencial de cada amostra para obtenção dos valores de luminosidade (L\*), das matizes vermelho (+a\*), verde (-a\*), amarelo (+b\*) e azul (-b\*). O valor da saturação da cor (C\*) e o ângulo de tinta (h) foram calculados pelas seguintes equações:

$$C^*=(a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (1)$$

$$H=\text{tang}^{-1}(b^*/a^*) \quad (2)$$

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na análise de colorimetria da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden são apresentados na Tabela 1. Os dados obtidos foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) com o auxílio do programa SAS<sup>®</sup> System a fim de determinar as diferenças significativas entre os tratamentos de termorretificação para as coordenadas L\*, a\*, b\*, C\* e h nos planos longitudinais radial e tangencial.

As madeiras termorretificadas apresentaram valores menores para a coordenada L\* tanto na face radial quanto na face tangencial (Tabela 1). A redução dos valores da coordenada L\* foi maior para os tratamentos realizados em condições mais severas de temperatura e tempo, principalmente para os tratamentos a 215°C e 230°C durante 2 e 4 horas (Figuras 2 e 3). Estes resultados indicam um escurecimento na madeira termorretificada para todas as condições de temperatura e tempo. De maneira geral, a coordenada L\* apresentou valores maiores para a face radial quando comparado à face tangencial (Figuras 2 e 3).

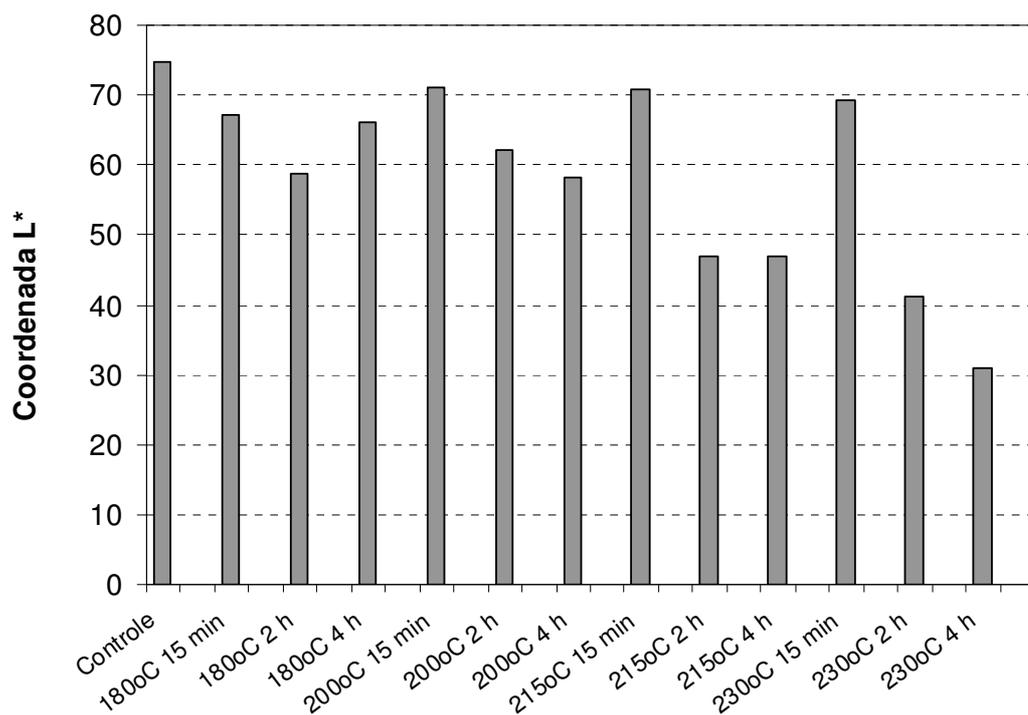
Para a coordenada a\*, geralmente, as madeiras apresentam valores positivos próximos de 12, situados no primeiro quadrante tal como apresentado na Figura 1. A madeira controle e todas as madeiras termorretificadas, com exceção do tratamento à 230°C por 4 horas, apresentaram valores de a\* entre 10 e 13, os quais correspondem a cor marrom-claro enquanto que o tratamento à 230°C por 4 horas apresentou valor inferior a 8 (Tabela 1 e Figuras 4 e 5), o qual classifica a cor da madeira como sendo marrom-escuro segundo a classificação dos grupos de cores de Cluster (Camargos, 1999), conforme apresentado na Tabela 2 (Anexo 1).

Para a coordenada b\*, os menores valores foram encontrados para o tratamento à 230°C por 4 horas, com valores de 12,10 e 11,21 para os planos radial e tangencial, respectivamente, os quais classificam a cor da madeira como marrom-escuro segundo a classificação dos grupos de cores de Cluster. Os demais tratamentos apresentaram valores de b\* entre 17 e 21 (Tabela 1 e Figuras 6 e 7), os quais podem ser classificados como marrom-claro (Anexo 1).

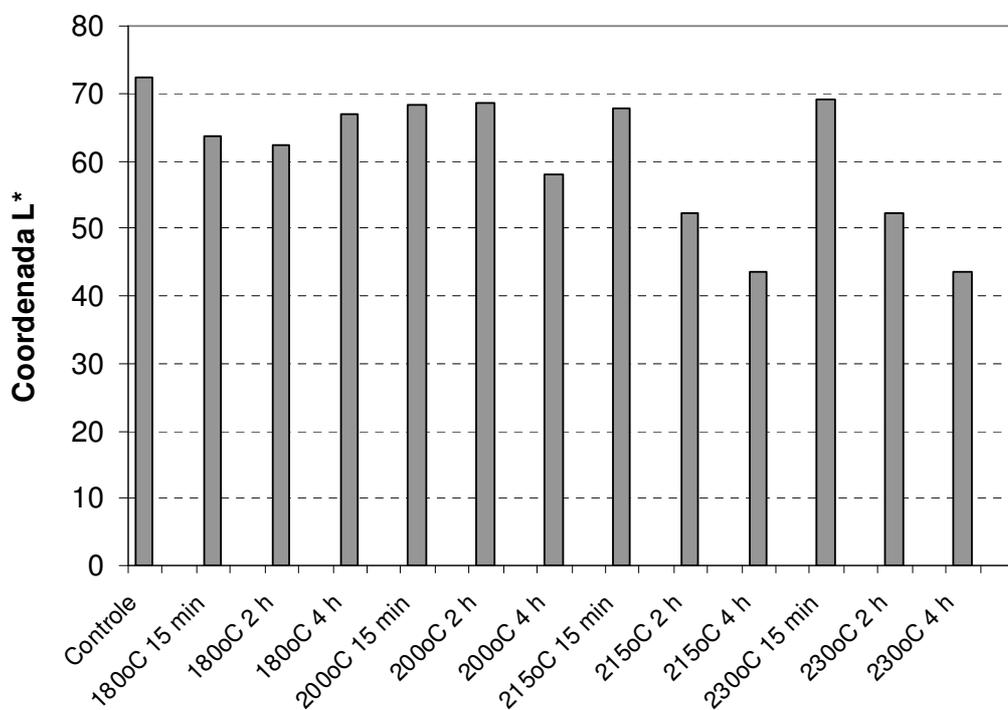
**Tabela 1.** Resultados obtidos para as análises estatísticas descritivas (média e desvio padrão) para a colorimetria no sistema CIE-L\*a\*b\* da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden nos planos longitudinais radial e tangencial.

Tratamento	Longitudinal radial					Longitudinal tangencial				
	L*	a*	b*	C*	h	L*	a*	b*	C*	h
Controle	74,82 A (1,70)	11,63 D (0,90)	18,34 C (0,40)	22,30 C (0,61)	56,52 BCD (10,93)	72,25 A (1,17)	12,01 C (0,80)	18,84 BC (0,42)	22,30 C (0,61)	56,95 BCDE (2,76)
180°C/ 15 min	67,03 D (2,51)	13,16 C (0,81)	19,95 BC (0,73)	23,71 B (1,41)	56,60 BCD (1,48)	63,80 C (5,29)	13,45 AB (1,19)	19,49 B (1,52)	23,71 B (1,41)	55,85 EFG (3,20)
180°C/ 2 h	58,63 F (1,62)	14,45 A (0,60)	18,12 ED (2,27)	23,41 BC (0,75)	51,19 E (3,98)	62,18 C (2,01)	13,84 A (0,93)	18,81 BC (0,41)	23,41 BC (0,55)	53,68 G (1,90)
180°C/ 4 h	65,99 D (1,28)	11,80 D (1,96)	18,23 ED (0,74)	20,57 D (0,67)	57,28 BCD (4,38)	67,01 B (2,48)	11,24 DE (1,24)	17,13 D (1,51)	20,57 D (0,67)	53,56 CDE (5,18)
200°C / 15 min	71,01 B (1,41)	11,60 D (0,36)	17,39 E (0,57)	20,24 D (2,35)	56,35 BCD (0,73)	68,28 B (3,44)	11,73 CD (1,03)	16,48 D (2,17)	20,24 D (2,35)	54,44 FG (1,27)
200°C/ 2 h	62,15 E (2,90)	12,73 C (0,46)	20,14 BC (0,79)	22,28 C (0,74)	57,61 BCD (1,62)	68,58 C (3,75)	11,75 CD (1,22)	18,86 BC (0,72)	20,28 C (0,77)	58,15 BC (3,10)
200°C/ 4 h	58,23 F (4,12)	11,54 DE (1,11)	21,71 A (1,01)	24,15 AB (1,28)	62,01 A (1,17)	57,94 D (2,78)	11,57 CD (0,28)	21,17 A (1,43)	24,15 AB (1,28)	61,29 A (1,44)
215°C / 15 min	70,92 BC (0,92)	11,06 F (0,76)	18,56 D (0,77)	20,68 D (0,55)	59,10 B (2,46)	67,69 B (1,48)	10,81 E (0,90)	17,61 CD (0,44)	20,68 D (0,55)	58,48 B (2,31)
215°C/ 2 h	46,83 G (5,39)	12,80 C (0,35)	20,43 B (1,82)	25,09 A (1,35)	57,76 BCD (2,38)	52,26 E (3,90)	12,98 B (0,37)	21,45 A (1,57)	25,09 A (1,35)	58,73 BC (2,04)
215°C/ 4 h	47,00 G (2,31)	13,78 B (0,54)	20,59 B (1,57)	20,93 D (4,93)	56,22 CD (1,17)	43,60 F (8,36)	11,58 CD (1,97)	17,44 D (4,63)	20,96 D (4,93)	55,81 BCD (2,83)
230°C / 15 min	69,22 C (2,44)	10,88 F (1,19)	17,72 ED (0,64)	20,27 D (1,95)	58,46 BC (2,61)	69,16 B (1,50)	10,83 E (1,10)	17,13 D (1,70)	20,27 D (1,95)	57,67 FG (1,56)
230°C/ 2 h	41,20 H (2,36)	11,74 D (0,54)	18,31 D (1,77)	22,91 BC (0,96)	57,23 BCD (1,45)	52,17 E (4,06)	12,29 C (0,38)	19,33 B (1,02)	20,91 BC (0,96)	57,51 BC (1,27)
230°C/ 4 h	30,98 I (1,83)	8,48 G (0,82)	12,10 F (1,36)	13,78 E (2,23)	55,00 D (1,26)	43,60 F (8,33)	7,94 F (1,20)	11,21 E (1,88)	13,78 E (2,23)	58,66 A (0,88)
Valor F	194,86**	30,63**	28,01**	35,25**	3,78**	35,64**	14,67**	14,46**	17,80**	5,05**

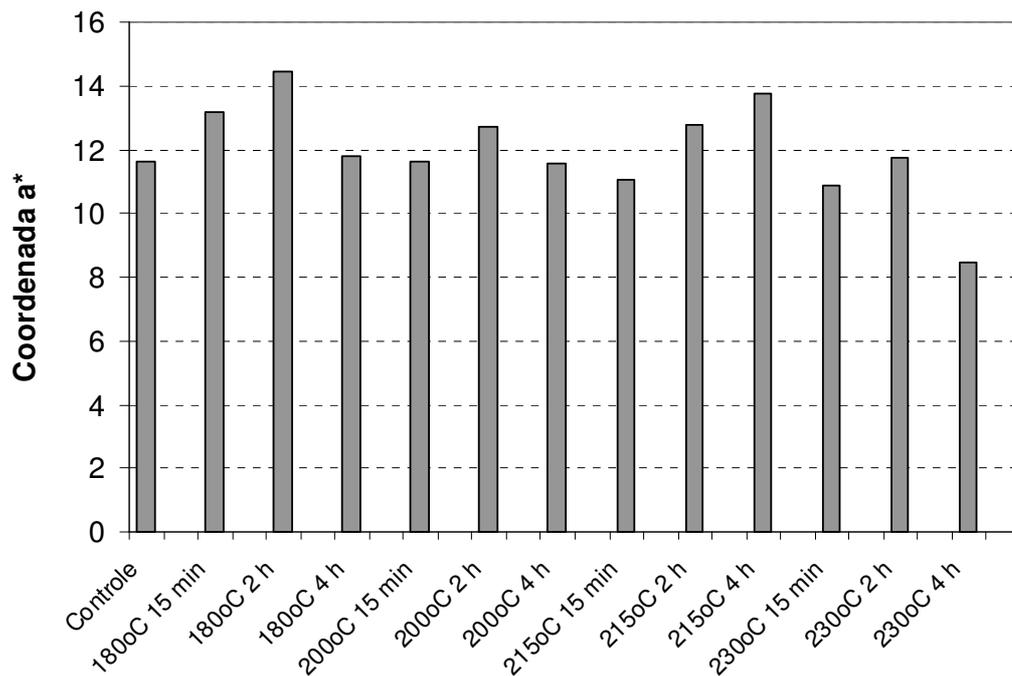
Onde: L\*: representa a luminosidade, a qual varia de 100 (branco) a zero (preto). a\*: variação de cor no eixo verde-vermelho. b\*: variação de cor no eixo amarelo-azul. C\*: saturação. h: ângulo de saturação. O desvio padrão é dado entre parêntesis. \*\* Significativo a 99% de probabilidade. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Duncan.



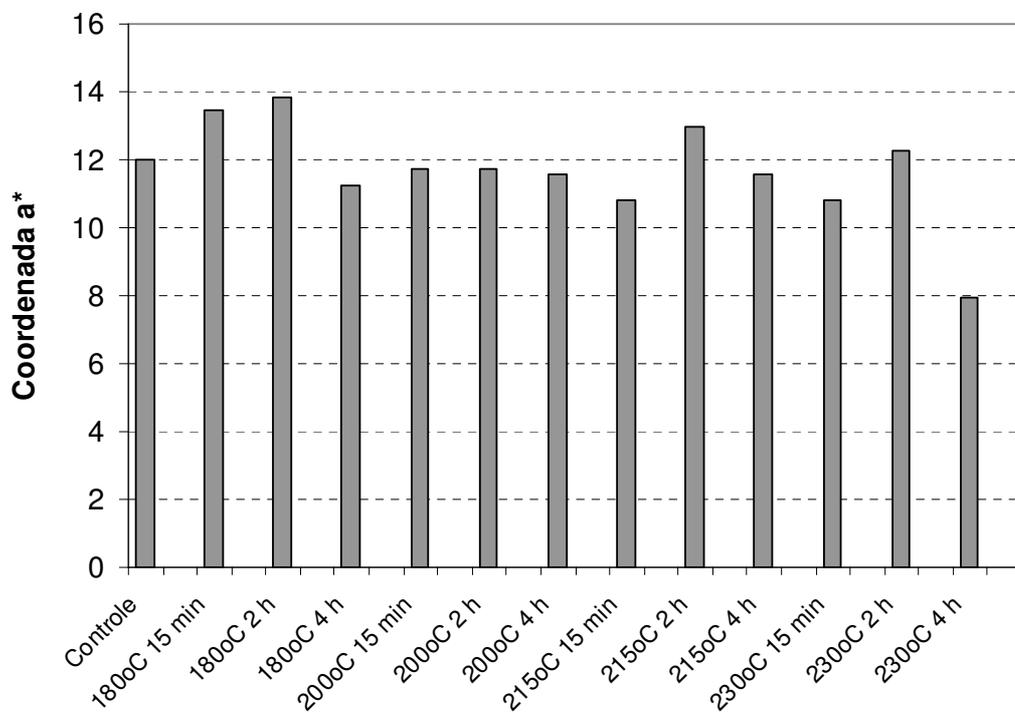
**Figura 2.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada L\* no plano longitudinal radial.



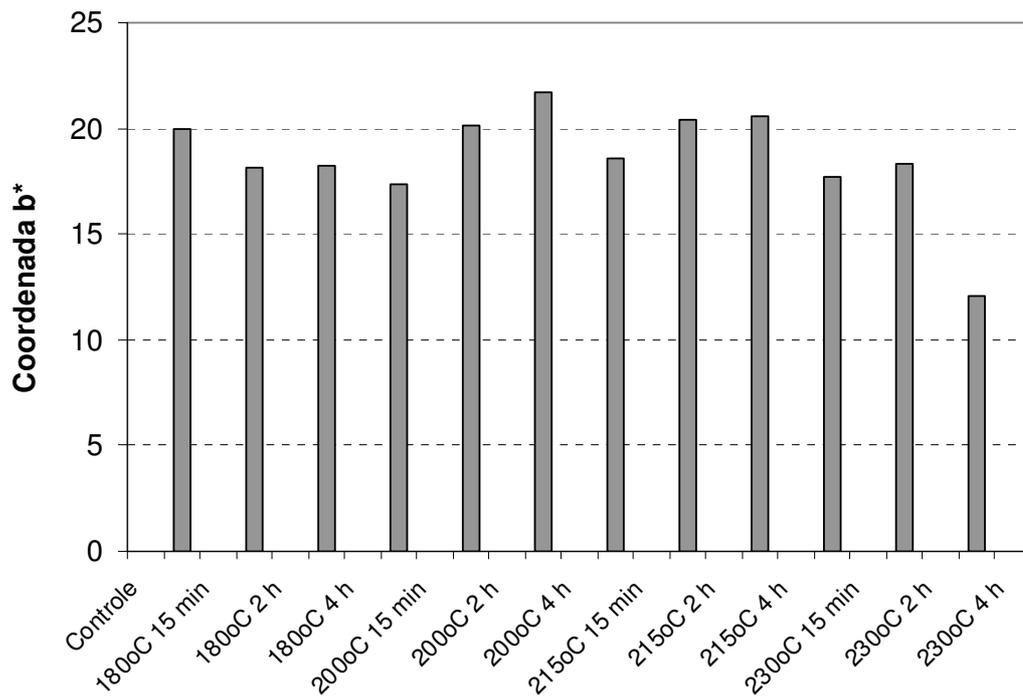
**Figura 3.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada L\* no plano longitudinal tangencial



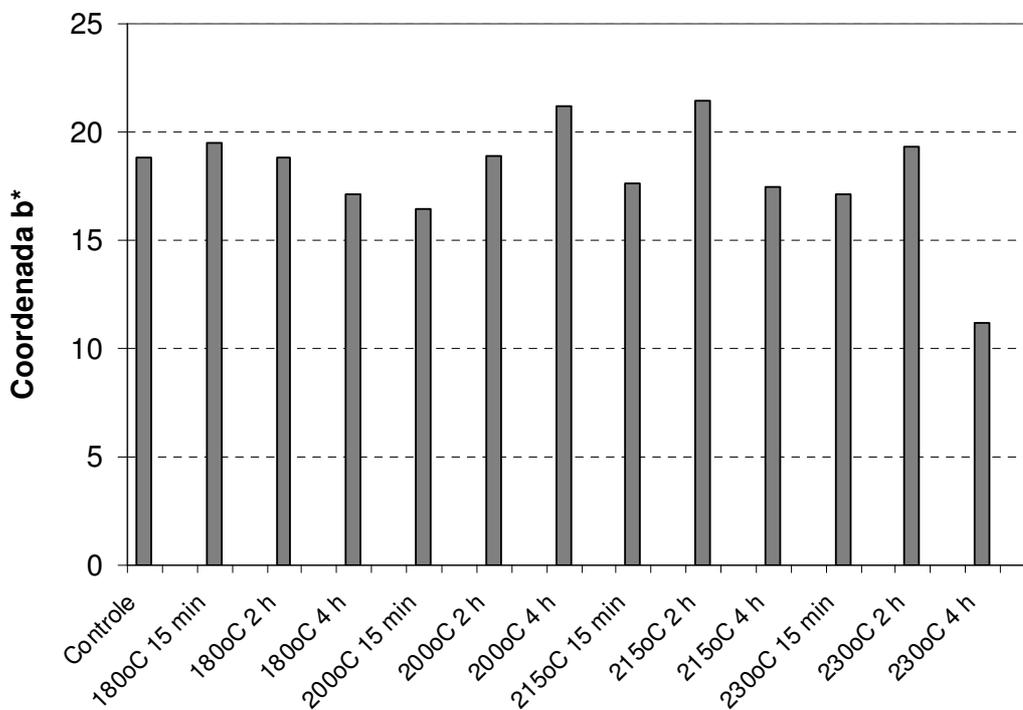
**Figura 4.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada a\* no plano longitudinal radial.



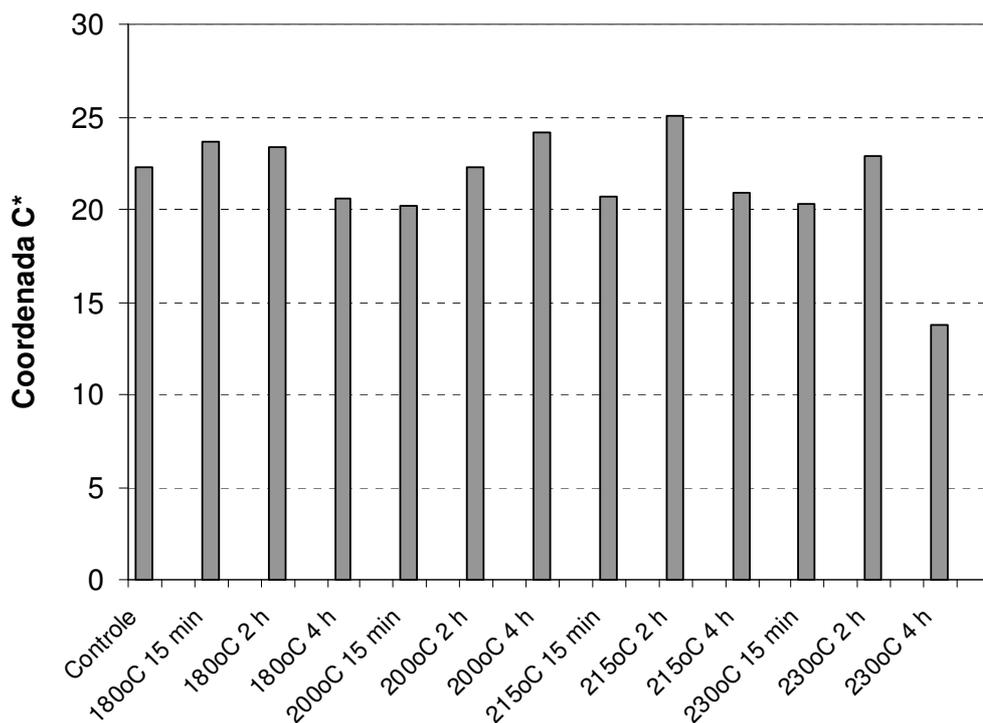
**Figura 5.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada a\* no plano longitudinal tangencial.



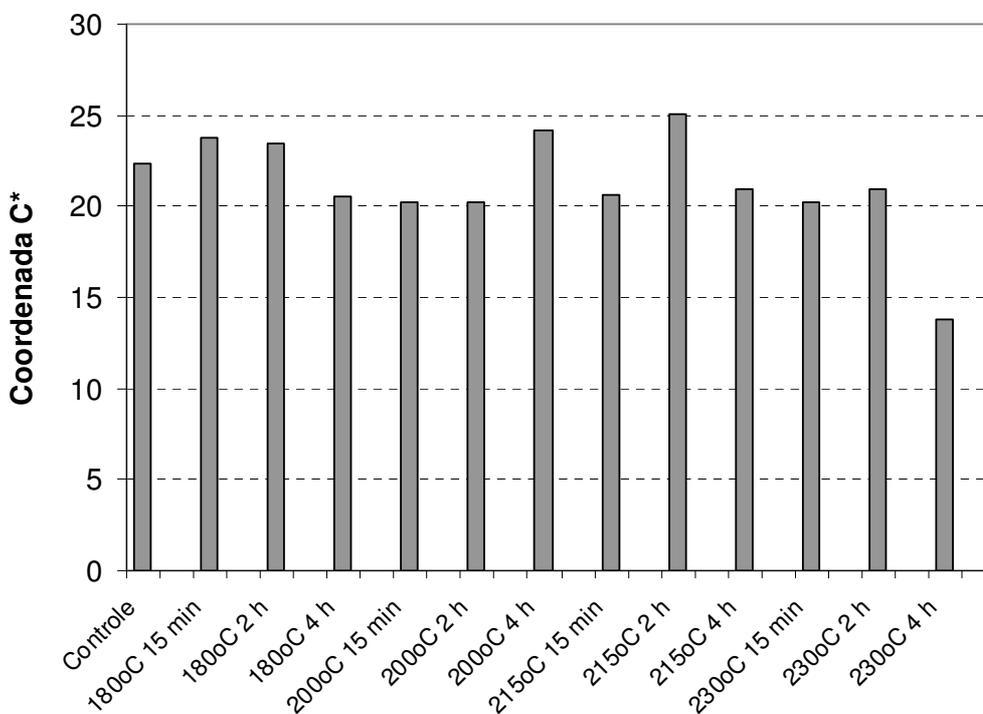
**Figura 6.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada b\* no plano longitudinal radial.



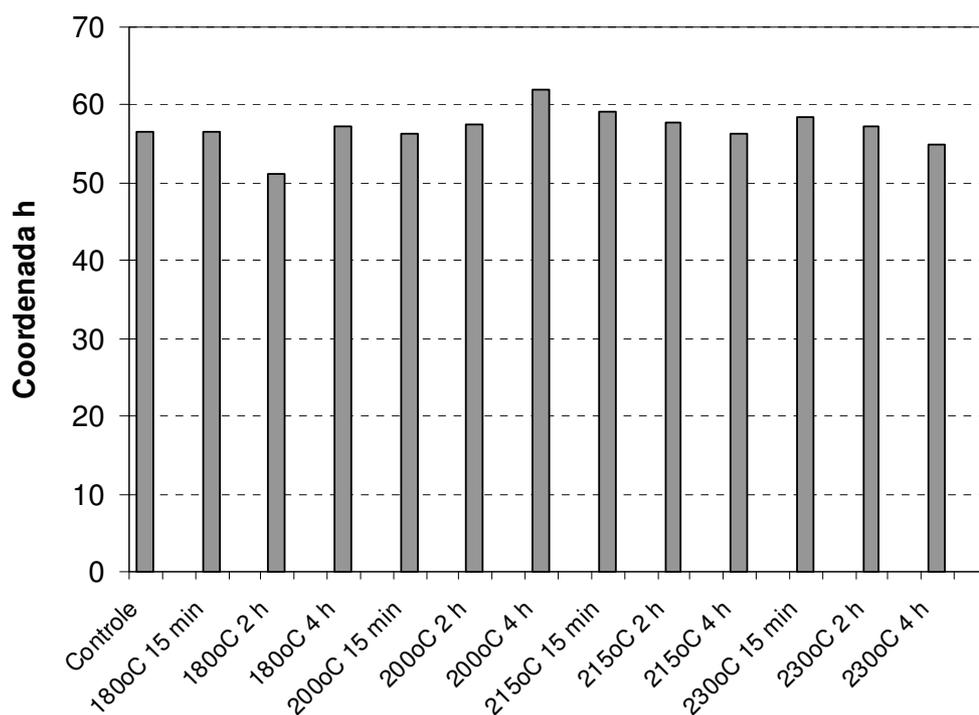
**Figura 7.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada b\* no plano longitudinal tangencial.



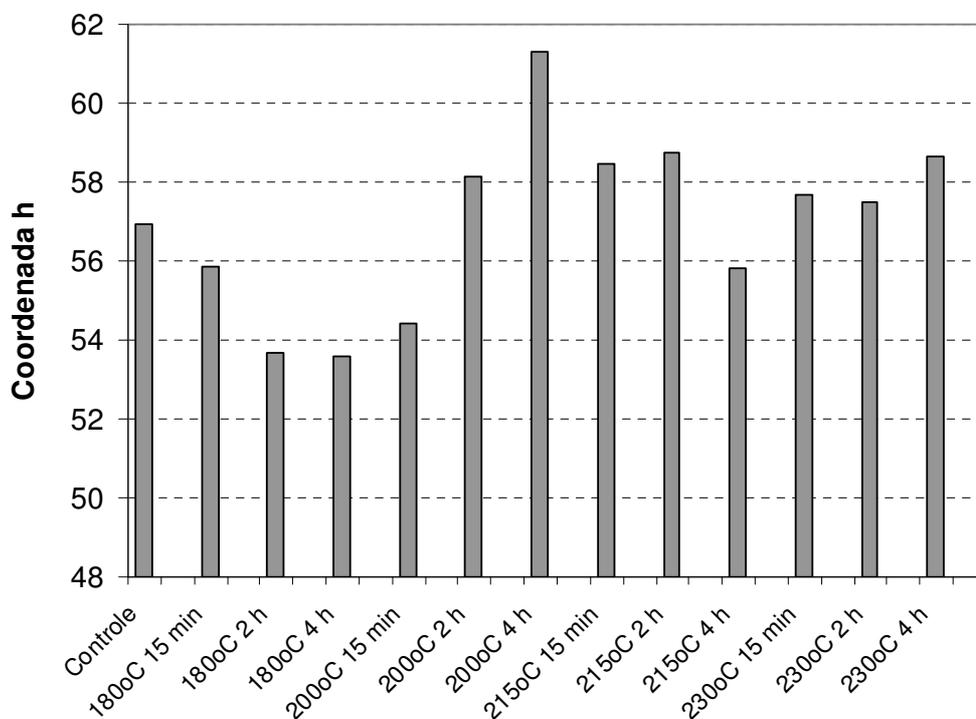
**Figura 8.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada C\* no plano longitudinal radial.



**Figura 9.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada C\* no plano longitudinal tangencial.



**Figura 10.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada h no plano longitudinal radial.



**Figura 11.** Efeito do tratamento de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na coordenada h no plano longitudinal tangencial.

Para a coordenada  $C^*$ , o tratamento à 230°C por 4 horas apresentou um valor médio de 13,78 para os dois planos analisados (radial e tangencial) conforme apresentado na Tabela 1, correspondendo a cor marrom-escuro (Anexo 1). Os demais tratamentos de termorretificação apresentaram valores de  $C^*$  entre 20 e 25, correspondendo a cor marrom-claro (Tabela 1 e Figuras 8 e 9).

O valor  $h$  corresponde ao ângulo de tinta, com relação as coordenadas  $a^*$  e  $b^*$ . No plano longitudinal radial, os maiores valores  $h$  foram encontrados para o tratamento a 200°C por 4 horas e o menor para o tratamento a 180°C por 2 horas (Figura 10). No plano longitudinal tangencial, os maiores valores  $h$  foram encontrados para o tratamento a 200°C e 230°C por 4 horas e o menores para os tratamentos a 180°C por 2 e 4 horas (Figura 11). O valor  $h$  é pouco utilizado para a classificação das cores da madeira.

## 5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nas análises de colorimetria da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, pode-se concluir que:

1. A madeira termorretificada apresentou um escurecimento para todos os tratamentos de termorretificação com valores menores para a coordenada  $L^*$ , a qual corresponde a luminosidade. Os menores valores de  $L^*$  foram observados para os tratamentos mais severos, com temperaturas mais altas e maior tempo, ou seja, para os tratamentos à 215°C e 230°C por 2 e 4 horas;

2. A face radial apresentou-se mais clara, com maior luminosidade que a face tangencial, devido aos maiores valores para a coordenada  $L^*$ ;

3. A madeira termorretificada a 230°C por 4 horas apresentou o menor valor para a coordenada  $a^*$ , a qual é responsável pelo pigmento vermelho, tornando a madeira mais escura;

4. O pigmento amarelo expresso pela coordenada  $b^*$  e a luminosidade pela coordenada  $L^*$  são responsáveis por tornarem a madeira mais clara, portanto, as madeiras que apresentaram maiores valores para a coordenada  $b^*$  mostraram-se mais claras, o que podemos averiguar no controle e nos tratamentos, com exceção do tratamento à 230°C por 4 horas, o qual apresentou os menores valores e uma tonalidade mais escura;

5. O tratamento realizado na condição mais severa de temperatura e tempo (230°C por 4 horas) apresentou os menores valores para as coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , caracterizando uma cor marrom-escura enquanto que os demais tratamentos foram caracterizados com uma cor marrom-claro.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises de colorimetria mostraram um escurecimento da madeira após a termorretificação, afetando assim a sua aparência, a qual pode agregar maior valor a madeiras de baixo valor comercial.

Estudos sobre a colorimetria da madeira termorretificada são necessários a fim de verificar o potencial desta análise para prever as propriedades físicas e mecânicas assim como as modificações químicas da madeira termorretificada nos futuros trabalhos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALÉN, R.; KOTILAINEN, R.; ZAMAN, A. Thermochemical behavior of Norway spruce (*Picea abies*) at 180-225°C. **Wood Science and Technology**, Berlin, v.36, n.2, p.233-242, 2002.
- BEKHTA, P; NIEMZ, P. Effect of high temperature on the change in colour, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. **Holzforschung** v. 57, p.539–546, 2003.
- BODIJ, J; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1982, 712 p.
- BORGES, L.M.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribea* var. *hondurensis* tratada termicamente. **Revista Biomassa & Energia**, Vol 1, N.2, 2004, p.173-182.
- CAMARGOS, J.A.A. **Colorimetria quantitativa aplicada na elaboração de um catálogo de cores de madeiras tropicais**. 1999. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais ), Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- DAVIS, T.C.; BEALS, H.O. Color in sweetgum wood. Auburn alabama: Agricultural experiment station. **Auburn University**, 1997, circular 231.
- DUCHEZ, L.; GUYONNET, R. **Principles and applications of wood rectification**. Disponível em: <<http://techtp.com/twpapers/fao>>. Acesso em: 20 mar. 2002.
- FOREST PRODUCTS SOCIETY. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Washington: US Department of Agriculture, 1999, 463 p.
- GONÇALVES, J.C.; MACEDO, D.G. Colorimetria aplicada a madeira de eucalipto. In: SILVA, J.C.; GOMES, J.M. (Eds.) **II Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto**. Belo Horizonte. 2003. p.81-95.
- HAKKOU, M.; PTRISSANS, M; ZOULALLIAN, A; GÉRARDIN, P. Investgations of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. **Polymer Degration and Stability**, Amsterdam, v89, n1, p-1-5, 2005.
- HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L. **Forest products and wood science: an introduction**. Iowa State University Press/ AMES, 1996. 484p.
- HOMAN, W.; TJEERDSMA, B.; BECHERS, E.; JORISSEN, A. Structural and other properties of modified wood. IN: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENRGINEERING, 2000. British Columbia, Canada. **Proceedings...** British Columbia, Canada, 2000, 8 p.
- HON, D.N S.; CHANG, S T. Photoprotection of wood surfaces by wood-ion complexes. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 17, n. 1, p. 92-100, 1985.

JÄMSA, S.; VIITANIEMI, P. Heat treatment of wood: better durability with out chemicals. In: RAPP, A.O. Review on heat treatments of wood. In: Special Seminar: ENVIRONMENTAL OPTIMISATION OF WOOD PROTECTION, 2001. Antibes, France. **Proceedings...**Antibes, France: Cost Action E 22, 2001, p.21-26.

JANIN, G. **Colorimetria Quantitativa Aplicada a Madeiras**, Brasília, UNB, 1995.

JOHANSSON, D. **Strenght and colour response of solid wood to heat treatment**. Luleå University of Technology, Department of Skellefteå Campus, Division of Wood Technology. 2005:93. ISSN: I402-I757. ISRN: LTU-LIC – 05/93 – SE.

JOHANSSON, D.; MORÉN, T. The potential of colour measurement for strength prediction of thermally treated wood. **Holz Roh-Werkst** v.64, p.104–110, 2006.

MADY, F.T.M. **Conhecendo a madeira: informações sobre 90 espécies comerciais**. Manaus: SEBRAE/AM/Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico, 2000. 212 p.

METSÄS-KORTELAJINEN, S.; ANTIKAINEN, T.; VIITANIEMI, P. The water absorption of sapwood and heartwood of Scot pines and Norway spruce heat-treated at 170°C, 190°C, 210°C and 230°C. **Holz als roh-und Werkstoff**, Berlin, v.64, n.3, p.192-197, 2005.

MCDONALD, A.; FERNANDEZ, M.; KREBER, B. **Chemical and UV–VIS spectroscopic study on kiln brown stain formation in Radiata pine**. In: 9th International Symposium of Wood and Pulping Chemistry, Montréal, vol 70, 1997. p. 1–5.

MITSUI, K.; TAKADA, H.; SUGIYAMA, M.; HASEGAWAS, R. Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment: Part 1 Effect of treatment conditions on the change in colour. **Holzforschung** v.55, p.601–605, 2001.

MOMOHARA, I.; OHMURA, W.; KATO, H.; KUBOJIMA, Y. Effect of high-temperature treatment on wood durability against the Brown-rot fungus, *Fomitopsis palustris*, and the termite *Coptotermes formosanus*. In: International IUFRO WOOD DRYING CONFERENCE, 2003. s.1. **Proceedings...**s.1., p.284-287.

MUNSELL, COLOR. **Soil color charts**. Baltimore: Koelmorgen, 1975.

NISHINO, Y; JANIN, G.; CHANSON, B.; DÉTIENNE, P.J. ; THIBAUT, B. Colorymetry of Wood speciens from French Guiana. **Japan Wood Science**, v.44, p.3-8, 1998.

QUIRINO, W.F.; VALE, A.T. **Retificação térmica de Eucalyptus grandis**. Floresta, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná-FUPEF, Edição Especial, p.60-66, 2002.

RAPP, A O. Review on heat treatments of wood. In: SPECIAL SEMINAR: ENVIRONMENTAL OPTIMISATION OF WOOD PROTECTION, 2001. Antibes, France. **Proceedings...**Antibes, France: Cost Acction E 22, 2001, 68 p.

ROWELL, R.M. Chemical modification of wood: it's application to composite products. **FRI Bulletin**, Bogor, n. 153, p. 57-67, 1990.

ROUSSET, P.; PERRÉ, P.; GIARD, P. Modificación of mass transfer properties in poplar wood (*P.robusta*) by thermal treatment at high temperature. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, v.62. n.2, p.113-119, 2004.

SEHISTEDT-PERSSON. **Colour responses to heat treatment of extractives and sap from pine and spruce**. In: 8th International IUFRO Wood Drying Conference, Brasov, 2003. p. 459-464.

SILVA, J.O.; PASTORE, T.C.M.; PASTORE, Jr.F. Resistência ao intemperismo artificial de cinco madeiras tropicais e de dois produtos de acabamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n.1, p. 17-23, 2007.

STAMM, A.; BURR, H.; KLINE, A. Stayb-wood -A heat stabilized wood. **Ind Eng Chem**, v.38. n.6 p.630-634, 1946.

STAMM, A.; HANSEN, L. Minimizing wood shrinkage and swelling: effect of heat in various gases. **Ind Eng Chem**, v.29.n.7 p.831-833, 1937.

SUNDQVIST, B. **Colour changes and acid formation in wood during heating**. Tese de Doutorado. 2004. Lulea University of Technology.

SYRJÄNEN, T. Production and classification of heat treated wood in Finland. IN: RAPP, A.O. Review on heat treatments of wood. In: Special Seminar: ENVIRONMENTAL OPTIMISATION OF WOOD PROTECTION, 2001. Antibes, France. **Proceedings...** Antibes, France: COST ACTION E 22, 2001, p.11-20.

TJEERDSMA, B.; BOONSTRA, M.; PIZZI, A.; TELKELY, P.; MILITIZ, H. Characterization of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. **Holz Roh-Werkstoff** v.56, p.149-153, 1998.

THIAM, M.; MILOTA; MLEICHTI, R.J. Effect of high-temperature drying on bending and shear strengths of Western Hemlock lumber. **Forest Products Journal**, Madison, v.52, p.64-68, 2002.

VERNOIS, M. Heat treatment of wood in France: state of the art. In: RAPP, A.O. Review on heat treatment of wood. In: SPECIAL SEMINAR: ENVIRONMENTAL OPTIMISATION OF WOOD PROTECTION, 2001. Antibes, France. **Proceedings...** Antibes, France: COST ACTION E 22, 2001, p.39-46.

WASKETT, P.; SEMES, R.E. Opportunities for UK grown timber: wood modification state of the art review. **Building Research Establishment LTD**, Proj. n° 203-343. 2001, 83p.

WEILAND, J.J.; GYONNET, R. Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. **Holz als Roh-Werkstoff**, Berlin, v.61, n.2, p.216-220, 2003.

WIKBERG, H.; MAUNU, S.L. Characterization of thermally modified hard-and softwoods by  $^{13}\text{C}$  CPMAS NMR. **Carbohydrate Polymers**, v.58, p.461-466, 2004.

YILGOR, N.; UNSAL, O.; KARTAL, S.N. Physical, mechanical, and chemical properties of steamed beech wood. **Forest Products Journal**, Madison, v.51, n.11/12, p.89-93, 2001.

## ANEXO

**Tabela 2.** Grupos de cores obtidos no agrupamento de Cluster usando as variáveis cromáticas L\*, a\*, b\*, C\* e h (adaptado de Camargos, 1999).

Grupo Cluster	Cor	Intervalos das variáveis cromáticas				
		L*	a*	b*	C*	h
01	Amarelo-oliva	64-64	06-06	46-46	47-47	82-82
02	Branco	69-80	04-08	19-27	21-28	71-79
<b>03</b>	<b>Marrom-escuro</b>	<b>38-51</b>	<b>06-11</b>	<b>10-16</b>	<b>12-19</b>	<b>50-61</b>
04	Rosa	55-68	11-27	18-27	23-30	53-64
05	Amarelo-claro	65-76	07-11	26-37	28-38	71-77
06	Roxo	36-39	12-07	03-07	12-16	14-29
07	Preto-avermelhado	28-35	04-08	03-06	05-10	35-44
08	Marrom-arroxeadado	29-44	08-11	08-12	11-16	34-52
09	Oliva	40-55	05-10	12-22	13-24	60-71
10	Oliva-claro	70-73	01-04	22-26	22-27	81-87
11	Banco-acinzentado	74-86	03-06	16-25	17-26	74-83
12	Marrom-escuro	35-51	11-16	13-18	17-23	43-55
13	Marrom-oliva	48-71	09-13	22-30	25-32	64-72
14	Preto	26-36	01-06	02-08	03-09	49-64
15	Vermelho-escuro	35-38	17-21	13-15	21-26	33-38
16	Cinza-rosado	61-76	04-08	13-20	14-21	67-76
17	Vermelho	37-52	17-24	16-23	24-31	39-52
18	Oliva-amarelado	51-69	06-09	20-27	21-28	69-76
19	Laranja-amarelado	53-54	24-27	34-38	42-46	54-55
20	Amarelo-alaranjado	49-66	12-19	31-36	33-40	61-67
<b>21</b>	<b>Marrom-claro</b>	<b>45-61</b>	<b>10-13</b>	<b>16-25</b>	<b>19-28</b>	<b>54-66</b>
22	Rosa-acinzentado	55-71	07-11	14-22	16-25	59-68
23	Amarelo-amarronzado	45-61	12-19	23-30	27-34	52-65
24	Amarelo	73-76	04-07	38-42	39-42	81-84
25	Marrom-avermelhado	39-57	13-17	18-23	23-29	50-58