

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

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE MADEIRAS
DO GÊNERO *Eucalyptus* SUBMETIDA A
TERMORRETIFICAÇÃO EM ÓLEO VEGETAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Bruno Conte

**Santa Maria, RS, Brasil
2015**

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE MADEIRAS DO
GÊNERO *Eucalyptus* SUBMETIDA A TERMORRETIFICAÇÃO
EM ÓLEO VEGETAL**

Bruno Conte

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**

Orientador: Prof. Dr. Darci Alberto Gatto

**Santa Maria, RS, Brasil
2015**

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

Conte, Bruno

Propriedades tecnológicas de madeiras do gênero
Eucalyptus submetida a termorreificação em óleo vegetal /
Bruno Conte.-2015.

122 p.; 30cm

Orientador: Darci Alberto Gatto

Coorientadores: Elio José Santini, Cristiane Pedrazzi
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2015

1. Tratamento térmico 2. Superfície da madeira 3.
Colorimetria 4. Espectroscopia no infravermelho I.
Alberto Gatto, Darci II. José Santini, Elio III.
Pedrazzi, Cristiane IV. Título.

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

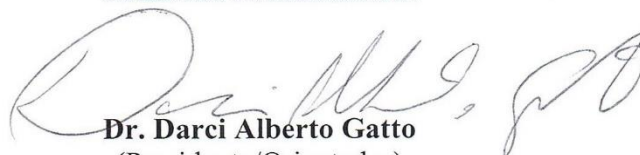
**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE MADEIRAS DO GÊNERO
Eucalyptus SUBMETIDA A TERMORRETIFICAÇÃO EM ÓLEO
VEGETAL**

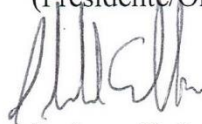
elaborada por
Bruno Conte

Como requisito parcial para obtenção de grau de
Mestre em Engenharia Florestal

Comissão Examinadora:



Dr. Darci Alberto Gatto
(Presidente/Orientador)



Dr. Jackson Roberto Eleoterio
(Universidade Regional de Blumenau)



Dr. Luciano Denardi
(Universidade Federal de Santa Maria)

Santa Maria, 24 de fevereiro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus por ter proporcionado pessoas especiais ao meu lado, que de uma forma ou outra foram essenciais para a construção dessa dissertação.

Aos meus pais: Eules e Osmar, irmãos: Cleverson e Silvia, cunhado: Jovanir, meu infinito agradecimento. Pessoas estas que não mediram esforços para me apoiar e incentivar.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal e a Capes pelo apoio financeiro.

Aos professores Drs. Luciano Denardi, Rômulo Trevisan, Edison Rogério Perrando e Fabiano de Oliveira Fortes pela amizade e apoio inicial.

Ao meu orientar professor Dr. Darci Alberto Gatto, pela amizade e confiança depositada no decorrer da pós-graduação.

Aos professores Drs. Elio José Santini, Clovis Roberto Haselein e Cristiane Pedrazzi pela ajuda e ensinamentos repassados.

Aos professores Drs. Jackson Roberto Eleoterio e Luciano Denardi por aceitarem o pedido de banca e pelas sugestões apresentadas.

Aos amigos do Laboratório de Produtos Florestais, em especial ao André Luiz Missio e Anderson Pertuzzatti pela ajuda, compreensão, dedicação e amizade.

Ao Tarso Michelotti e Nelson de Castro pela ajuda, amizade e conhecimento prático repassado.

Aos amigos: Vlademir Martarello, Rudinei De Marco, Indiara Cáceres Jacques, Felipe Turchetto, Vagner Cerentini, Fernanda Andrade, Daniele Brum e Talita Baldin pela amizade e ajuda no decorrer da pesquisa.

Ao meu amigo Mario Vanzetto (Dim), pelas inúmeras caronas de Santa Maria (RS) – Caibi (SC) e aos amigos da transportadora Transsechi o meu sincero agradecimento.

A todos os amigos, meu muito obrigado!

*Bem-aventurado o homem que acha
sabedoria, e o que adquire
conhecimento.*

(Provérbios 3:13)

RESUMO

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

PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE MADEIRAS DO GÊNERO *Eucalyptus* SUBMETIDA A TERMORRETIFICAÇÃO EM ÓLEO VEGETAL

AUTOR: BRUNO CONTE

ORIENTADOR: DR. DARCI ALBERTO GATTO

DATA E LOCAL DA DEFESA: SANTA MARIA, 24 DE FEVEREIRO DE 2015

O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da termorretificação em óleo vegetal nas propriedades físicas, mecânicas, químicas e superficiais da madeira de duas espécies do gênero *Eucalyptus*. Inicialmente foram selecionadas seis árvores, das quais três são referentes a espécie *Eucalyptus cloeziana* F. Muell e as demais de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, as quais deram origem aos corpos de prova para ensaios físicos e mecânicos. Foram realizados 20 tratamentos, distribuídos entre as duas espécies, três tempos (2, 4 e 6 horas) e três temperaturas (160, 190 e 220°C), mais os tratamentos controle. Para a realização da termorretificação foi utilizado um banho de óleo laboratorial e, para a cura dos corpos de prova, utilizou-se uma estufa de circulação de ar forçada. As análises físicas avaliadas foram: a variação de massa, o teor de umidade de equilíbrio, a massa específica e higroscopicidade da madeira. Nos ensaios mecânicos avaliou-se a flexão estática, flexão dinâmica e dureza Janka. Quantificou-se as mudanças colorimétricas, tanto na superfície, quanto no centro das peças e a análise química foi avaliada qualitativamente por espectroscopia no infravermelho (ATR-IR). Os resultados mostraram que o processo de termorretificação alterou significativamente as propriedades físicas, sendo nos tratamentos mais severos (220°C) as maiores modificações; tais alterações aumentaram a estabilidade dimensional e diminuíram a higroscopicidade da madeira. O módulo de ruptura e a dureza Janka diminuíram após a aplicação dos tratamentos de termorretificação, já no módulo de elasticidade não houve alteração. As alterações colorimétricas proporcionaram a homogeneização da cor, além de conceder um tom marrom a madeira tratada, beneficiando sua aplicação em fins estéticos. Através da técnica de ATR – IR foi possível identificar os principais elementos químicos alterados pelo processo de termorretificação, como hemiceluloses, celulose, lignina e extrativos, dos quais serviram de base para a explicação das modificações ocorridas na madeira. De modo geral, o processo de termorretificação em óleo vegetal aplicado à madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* ocasionou modificações relevantes, as quais, podem proporcionar o emprego da madeira tratada em ambientes antes impróprios ao seu uso.

Palavras-chave: Tratamento térmico, óleo de soja, superfície da madeira, propriedades físicas, propriedades mecânicas.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Forest Engineering Post Graduation Program
Federal University of Santa Maria

TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF WOOD GENUS *Eucalyptus* SUBMITTED TO HEAT TREATMENT IN VEGETABLE OIL

AUTOR: BRUNO CONTE
ORIENTADOR: DR. DARCI ALBERTO GATTO
DATE AND PLACE OF DEFENSE: SANTA MARIA, FEBRUARY 24th, 2015

This study aims to evaluate the effect of thermal treatment in vegetable oil in physical, mechanical, chemical and surface property of the wooden whose two species of the genus *Eucalyptus*. Initially, we selected six trees, three of which belong for *Eucalyptus cloeziana* F. Muell species and the others to the *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, which gave surce to the samples of physical and mechanical tests. Perform were 20 treatments distributed between the two species, three times (2, 4 and 6 hours) and three temperatures (160, 190 and 220°C), more the control treatments. To the termorretificação was used oil bath laboratory and for drying of the samples, we used a forced circulating air kiln. The analyzes physical evaluated were weight change, equilibrium moisture content, density and hygroscopicity of wood. In mechanical tests was evaluated static and dynamic bending and Janka hardness. Quantity were colorimetric changes, both on the surface and in the center of the parts and the chemical analysis was qualitative lye valuated by infrared spectroscopy (ATR-IR). The results showed that the process of thermal treatment changed signifivantly the physical properties and is the most severe treatment (220°C) the greatest changes; such changes have incriased dimensional stability and decreased hygroscopicity of wood. The modulus of rupture and Janka hardness decreased after thermal treatment application, alredy the modulus of elasticity hadn't change. The colorimetric provided the color homogenization, in addition to providing a tropical tone treated wood, benefiting its application in aesthetic purposes. Through the technique of ATR - IR was possible to identify the main chemical elements changed by process of thermal treatment as hemicellulose, cellulose, lignin and extractives, which were the basis for the explanation of the changes occurring in the wood. In general, the process thermal treatment vegetable oil applied to the *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus cloeziana* caused significant modifications, which could provide the use of wood treated in environments unsuitable prior to its use.

Keywords: Thermal treatments, soybean oil, wood surface, physical properties, mechanical properties.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
	2.1 Geral.....	19
	2.2 Específicos.....	19
3	REVISÃO DE LITERATURA	21
	3.1 O cenário da madeira serrada no Brasil.....	21
	3.2 Qualidade da madeira	21
	3.3 Métodos de modificação da madeira.....	23
	3.3.1 <i>Thermowood</i> ®.....	24
	3.3.2 <i>Plato</i> ®	24
	3.3.3 <i>Retification</i> ®	25
	3.3.4 <i>Perdure</i> ®	25
	3.3.5 <i>Vap holzsysteme</i> ®	26
	3.3.6 <i>OHT</i> ® - (<i>Oil Heat Treatment</i>)	26
	3.4 Uso do óleo vegetal na termorretificação.....	28
	3.5 Influência da termorretificação nas propriedades da madeira	30
	3.5.1 Alterações químicas	30
	3.5.2 Alterações físicas.....	31
	3.5.3 Alterações mecânicas.....	32
	3.5.4 Alterações colorimétricas	33
4	MATERIAL E MÉTODOS	35
	4.1 Local, seleção e coleta da matéria-prima.....	35
	4.1.1 Madeira	35
	4.1.2 Óleo vegetal.....	36
	4.2 Preparo dos corpos de prova	37
	4.3 Tratamentos de termorretificação.....	38
	4.4 Processo de termorretificação.....	39
	4.5 Ensaaios físicos.....	41
	4.5.1 Variação percentual de massa	41
	4.5.2 Massa específica básica.....	41
	4.5.3 Teor de umidade de equilíbrio	42
	4.5.4 Estabilidade dimensional	42

4.5.4.1	Inchamentos	42
4.5.4.2	Absorção e taxa de absorção em água	43
4.6	Ensaio mecânico	44
4.6.1	<i>Flexão estática</i>	44
4.6.2	<i>Flexão dinâmica</i>	44
4.6.3	<i>Dureza Janka</i>	44
4.7	Espectrometria no infravermelho por reflectância total atenuada	45
4.8	Análise Colorimétrica	45
4.9	Análise estatística	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
5.1	Ensaio físico	49
5.1.1	<i>Variação percentual de massa</i>	49
5.1.2	<i>Massa específica básica</i>	50
5.1.3	<i>Teor de umidade de equilíbrio</i>	52
5.1.4	<i>Inchamento longitudinal, radial, tangencial e volumétrico</i>	53
5.1.5	<i>Absorção e taxa de absorção em água</i>	59
5.2	Ensaio mecânico	63
5.2.1	<i>Flexão dinâmica</i>	63
5.2.2	<i>Flexão estática</i>	64
5.2.3	<i>Dureza Janka</i>	68
5.3	Colorimetria.....	73
5.4	Espectrometria no infravermelho por reflectância total atenuada (ATR – IR)....	88
6	CONCLUSÕES.....	93
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
	APÊNDICES.....	109

1 INTRODUÇÃO

O setor de base florestal habitualmente aprimora seus processos produtivos, visando a sustentabilidade e eficiência das florestas plantadas. Recentemente, com o aumento da população e conseqüentemente da demanda por produtos de origem florestal, tornou-se oportuna a busca por materiais que atendam as perspectivas desse nicho de mercado, os quais prioriza os de baixo impacto ambiental.

A madeira possui inúmeras qualidades que à elegem como material visado na construção civil: é flexível, renovável e esteticamente atraente, além de possuir baixo consumo de energia e poluição no seu processamento, quando comparado a materiais artificiais, tais como aço, concreto e plástico (WWF, 2012). O uso da madeira como alternativa na substituição desses materiais resulta em benefícios ambientais, poupando em média 0,9 toneladas de CO₂ por metro cúbico de madeira (BROOKRIDGE TIMBER PRODUCTS, 2014).

No entanto, mesmo ciente dos benefícios proporcionados pela madeira sólida, a preocupação brasileira na área florestal direciona-se principalmente à produção de papel e bioenergia (WWF, 2013). Diante disso, as pesquisas estão voltadas a produção de madeira em quantidade (volume) e não em qualidade, o que direciona ainda mais a atenção sobre os produtos de madeira sólida. Normalmente utilizam-se espécies de rápido crescimento, como as do gênero *Eucalyptus* e *Pinus*.

Em geral, algumas madeiras de eucalipto apresentam certas peculiaridades, como a alta higroscopicidade, anisotropia e degradação biológica, das quais derivam grande parte dos problemas encontrados em seu uso. Estas características, próprias da madeira, geram a necessidade da aplicação de tratamentos que permitam melhorias tecnológicas e, conseqüentemente, ampliar a gama de utilização do material, principalmente em sua forma sólida.

A termorretificação (tratamento térmico) caracteriza-se por ser um processo que visa modificar tecnologicamente a madeira, melhorando suas propriedades físicas, biológicas e superficiais. Desse modo, aumenta-se a estabilidade dimensional, resistência a fungos e, sobretudo, confere a madeira colorações semelhante aquelas de espécies tropicais de maior valor econômico (MOURA et al., 2012). As principais modificações químicas durante a termorretificação ocorrem na faixa de 160 a 260°C (NEJAD et al., 2013), sendo assim, torna-se possível a inserção de óleos vegetais no processo, pois o ponto de fulgor de muitos óleos

naturais é mais elevado do que a temperatura necessária para o tratamento térmico da madeira, com isso, é possível realizar vários tratamentos utilizando-se óleo quente.

Neste contexto, busca-se inserir o óleo vegetal ao tratamento térmico, visando a melhoria das características da madeira do gênero *Eucalyptus*. As modificações previstas na madeira termorretrificada, como a formação de uma película hidrofóbica ao redor das peças (DUBEY et al., 2012), bem como a mudança das características físicas, estéticas e superficiais da madeira podem proporcionar um produto diferenciado.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o efeito da termorretificação em óleo vegetal nas propriedades físicas, químicas, mecânicas e superficiais da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

2.2 Específicos

- Identificar e avaliar o efeito da termorretificação nas propriedades físicas por meio de ensaios de estabilidade dimensional, teor de umidade de equilíbrio, variação de massa, e massa específica básica;
- Quantificar a variação de resistência das propriedades mecânicas de flexão estática, flexão dinâmica e dureza Janka.
- Caracterizar qualitativamente as alterações da estrutura química da madeira termorretificada;
- Quantificar as alterações da superfície da madeira por meio do ensaio de colorimetria.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O cenário da madeira serrada no Brasil

Com a extensão de aproximadamente 8,5 milhões de km², o Brasil detém grande diversidade edafoclimática, formas de relevo e correntes de massas de ar favoráveis ao desenvolvimento de espécies florestais. Entre os gêneros cultivados, se destacam *Eucalyptus* e *Pinus*, que ocupam uma área plantada de aproximadamente 6,6 milhões de hectares, sendo 76,6% e 23,4% correspondente à área de plantio de eucalipto e pinus, respectivamente, dos quais são destinados principalmente a fabricação de celulose, chapas, madeira serrada, energia e carvão (ABRAF, 2013).

Conforme a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), a produção brasileira de madeira serrada atingiu a marca de 25 milhões de metros cúbicos em 2012, deste 63,7% correspondem à folhosas, representada na grande maioria pelo gênero *Eucalyptus* e 36,3% às coníferas do gênero *Pinus* (FAO, 2012). Ao total, somente 4,8% do montante produzido é destinado à exportação, resultando em aproximadamente 352 milhões de dólares, ou seja, grande parte da madeira serrada está voltada ao mercado interno.

Ao comparar a área plantada com a produção de madeira serrada, proporcionalmente para ambos os gêneros supracitados, pode-se perceber que *Pinus* se destaca, em virtude das suas propriedades tecnológicas. Atualmente o gênero *Eucalyptus* está voltado a produção de biomassa, pois o produto madeira serrada apresenta restrições de usos, devido principalmente à rachaduras e empenamentos que estão associados às tensões internas, desvalorizando o produto final (REMADE, 2001a).

3.2 Qualidade da madeira

A qualidade da madeira pode ser considerada um conceito que enfatiza determinadas propriedades (anatômicas, químicas, físicas e mecânicas) que, individualmente ou em combinação, têm influência positiva sobre um produto específico (SCHIMLECK; CLARK, 2008). A caracterização qualitativa da madeira envolve critérios ambientais (clima e relevo), nutricionais, manejo da floresta e genéticos, que ao fim, somados ou não, interferem diretamente na produtividade, qualidade e preço final de mercado. Entre os fatores que prenunciam a negociação da madeira ao final do seu ciclo produtivo está a higroscopicidade,

estabilidade dimensional, anisotropia, teor de umidade de equilíbrio, resistência mecânica, coloração e durabilidade natural.

Quando a madeira é exposta a determinados ambientes, está sujeita a variações de temperatura e umidade relativa, trazendo consigo consequências indesejáveis, das quais originam alterações dimensionais no material. Desse modo, a madeira exposta às variações da atmosfera estará constantemente absorvendo ou liberando moléculas de água, propriedade conhecida como higroscopicidade (JANKOWSKY, 1985).

De acordo com Borges e Quirino (2004), a higroscopicidade é explicada principalmente pela constituição química da madeira, composta pela celulose, hemiceluloses e lignina. Dentre esses polissacarídeos, a hemicelulose é a mais hidrófila devido ao seus grupos OH livres que se unem as moléculas de água, contribuindo para a variação dimensional da madeira. Rowell e Banks (1985) afirmaram que a estabilidade dimensional é a medida do inchamento resultante da absorção de umidade, resultante da higroscopicidade. A contração e o inchamento da madeira resultam em variações dimensionais que, conjuntamente com a anisotropia, derivam em características indesejáveis à madeira, restringindo o seu uso para diversos fins, necessitando de técnicas específicas de utilização (DURLO; MARCHIORI, 1992; BATISTA, 2012).

A anisotropia por sua vez, refere-se ao desempenho diferenciado dos diferentes planos atômicos de orientação, no geral a sequência de maior variação segue ao eixo tangencial, radial e longitudinal. Atributo intrínseco à natureza da madeira, a heterogeneidade somada a anisotropia, constituem o ponto central a ser analisado quanto da sua utilização, tal conhecimento a respeito do desbalanceamento entre a direção tangencial e radial serve de subsídio para o correto emprego (REMADE, 2001b; SILVA; OLIVEIRA, 2003; KLITZKE, 2005).

O teor de umidade de equilíbrio é o estado no qual a madeira, exposta a condições de temperatura e umidade relativa constante, atinge o equilíbrio higroscópico com o ambiente, nesse momento, não absorve (adsorção) e não perde (desorção) umidade com o meio. O controle dessa propriedade é fundamental para que seu emprego seja adequado, uma vez que o conteúdo de água presente na madeira está diretamente relacionado a susceptibilidade a fungos, ou seja, quanto maior o teor de umidade de equilíbrio maior são as chances do ataque de organismos indesejáveis que prejudicam e/ou altera as características da madeira (MORESCHI, 2010).

Com relação as propriedades organolépticas, textura, densidade, grã e dureza são usualmente utilizadas para avaliar o potencial qualitativo da madeira. Recentemente, a cor tornou-se também um parâmetro de análise qualitativa, desse modo, deve ser incorporada ao planejamento, visando à caracterização tecnológica da madeira a fim de atender aos usos mais

nobres desse material (MORI et al., 2004). De acordo com Janin et al. (2001), quando se leva em consideração fins estéticos da madeira, a cor torna-se um critério importante no momento da compra, desempenhando papel fundamental no estabelecimento de preços da madeira serrada e na comercialização de diversos produtos tais como móveis e laminados decorativos.

De modo geral, as características intrínsecas da madeira de uma espécie qualquer, pode qualificar ou desqualificar o produto final conforme as exigências de mercado, sendo assim é válida a adoção de técnicas que modificam tais características indesejáveis da madeira, designando um material diferenciado e com determinado padrão de qualidade.

3.3 Métodos de modificação da madeira

O termo modificação da madeira foi descrito por diversos autores (HOMAN et al., 2000; HILL, 2006; KORKUT; GULLER, 2008; DUBEY, 2010), no entanto, a descrição realizada por Hill (2006) é usualmente utilizada e define a modificação como um processo que melhora as propriedades da madeira durante o seu ciclo usual, produzindo um material com características diferenciadas e que não apresente perigo ambiental superior ao da madeira não tratada. Conforme Esteves e Pereira (2009) existem quatro métodos de modificação da madeira: químico (baseia-se na reação entre os grupos hidroxilo da madeira e um reagente químico), de impregnação (baseia-se na introdução de um ou vários compostos químicos na parede das células que, ao reagirem, formam um composto que bloqueia o acesso aos grupos hidroxilo), de superfície (alteram essencialmente as propriedades da superfície da madeira, sobretudo a resistência à degradação pela luz solar e condições de aderência) e o térmico (modificação química da madeira, sem o envolvimento de resíduos tóxicos), sendo este último amplamente explorado na última década, principalmente devido ao seu baixo impacto ambiental.

O processo de modificação térmica apresenta elevada barganha no mercado madeireiro, devido aos benefícios proporcionados aos produtos, quando comparado a outros métodos de modificação da madeira. Com o declínio da madeira de alta qualidade, à crescente demanda por materiais de construção sustentáveis, baixo custo do tratamento e aumento da introdução de leis restritivas ao uso de produtos químicos tóxicos, impulsiona a utilização da madeira modificada termicamente (BOONSTRA, 2008). São seis, os principais processos de modificação térmica da madeira: Thermowood[®], Platô[®], Retification[®], Perdure[®], Vap Holzsysteme[®] e o OHT[®] (Oil heat treatment).

3.3.1 Thermowood®

O tratamento térmico ThermoWood® é um processo pelo qual a madeira é submetida a altas temperaturas (160 - 200°C) por um determinado período de tempo (FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION, 2003). Na década de 90 foi intensa a pesquisa voltada a este processo, principalmente na Finlândia, França e Holanda. No entanto, o êxito do processo foi alcançado pelo método desenvolvido pela VTT (*Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus* - Centro de Pesquisa Técnica da Finlândia).

Em parceria com a indústria de madeira finlandesa, a VTT desenvolveu o processo industrial ThermoWood®, esse por sua vez, baseia-se em três etapas:

- Inicialmente, com a madeira na estufa, utiliza-se calor e vapor de água, onde a temperatura é aumentada rapidamente para um nível em torno de 100°C, em seguida eleva-se a temperatura gradualmente para 130°C por 12 horas aproximadamente, período o qual a madeira diminui sua umidade a quase 0% de umidade.
- Na segunda etapa, a temperatura da estufa é aumentada para a faixa de 185°C a 215°C, no qual, ao alcançar a temperatura pré-estabelecida, está permanece constante por 2 a 3 horas, dependendo da aplicação final.
- A etapa final refere-se ao condicionamento do material, a temperatura é diminuída por meio de sistemas de pulverização de água, com o propósito de estabelecer uma umidade final no material em torno de 4-7%.

Após o processo, a madeira submetida ao tratamento térmico apresenta coloração escura, torna-se mais estável dimensionalmente e suas propriedades de isolamento são melhoradas.

3.3.2 Plato®

O processo Plato® iniciou na Holanda no ano de 2000, quando foi construída a primeira fábrica com produção inicial de 50.000m³ anuais de madeira tratada (TJEERDSMA; MILITZ, 2005). O tratamento aplicado baseia-se inicialmente em uma pré-secagem, termohidrólise, secagem convencional, cura e condicionamento do material (HILL, 2006; PLATO, 2009).

Na pré-secagem, a madeira é submetida a uma secagem artificial até atingir 14 a 18% de umidade (BATISTA, 2012), em seguida, na termohidrólise ocorre um sistema de aquecimento por vaporização com temperaturas oscilando de 150 a 190°C por um período de 4 a 5 horas

(PLATO, 2013). Após isso, a madeira é submetida a uma secagem convencional por um período de 5 a 21 dias até atingir a umidade de 8%, tal processo tem auxílio de sensores de umidade que são integrados ao sistema de controle automático da câmara de secagem (PLATO, 2013).

A cura, consiste de um novo aquecimento a uma temperatura de 150 e 190°C. Esta etapa tem duração de 12 a 16 horas, dependendo do tipo de madeira. Durante a cura, é importante que o conteúdo de oxigênio seja inferior a 2%, a fim de evitar o perigo de incêndio. Após, a madeira é submetida ao condicionamento que consiste na elevação da umidade para 3 a 5% por um período de 3 dias (PLATO, 2013).

3.3.3 Retification[®]

A Retification[®] é um processo francês que teve início no ano de 1995 (HILL, 2006), que consiste no tratamento térmico que adiciona calor sob atmosfera inerte, por um período de até 24 horas, fazendo com que haja o rearranjo das cadeias moleculares da madeira (RETIWOOD, 2013).

Conforme Esteves e Pereira (2009), ao se iniciar o processo de retificação, a madeira apresenta condição de 12% de umidade, sendo tratada em estufa a uma faixa de temperatura de 200°C a 240°C com atmosfera de nitrogênio com menos de 2% de oxigênio. A comercialização e industrialização da madeira tratada termicamente iniciou em 1997, sendo comercializada pela marca Retiwood[®], patenteada pela empresa francesa Retitech.

3.3.4 Perdure[®]

O procedimento Perdure[®] compreende o tratamento da madeira a uma temperatura elevada por um único processo de pirólise fornecida sob atmosfera inerte. A madeira é aquecida a mais de 200°C e como nos outros processos anteriormente supracitados, não há adição de produtos químicos. O método aumenta as ligações moleculares da madeira melhorando assim as propriedades físico-mecânicas (VERNOIS, 2001; PERDURE, 2013).

O ciclo do tratamento térmico inicia-se com a retirada da água livre nos lúmens e espaços celulares. Em seguida a água de impregnação que fica retida na parede celular é removida. Após a saída desses dois tipos de água presente na madeira, o tratamento térmico é iniciado. A partir desse momento ocorrem as modificações moleculares, havendo assim a migração e/ou formação de novos compostos químicos. Após o processo ocorre a formação de

uma camada protetora ao redor das peças, inibindo e/ou reduzindo o ataque de organismos xilófagos (PERDURE, 2013).

3.3.5 Vap holzsysteme®

O sistema Vap holzsysteme® foi adotado no Brasil em 2006 pela empresa TWBrazil. O processo baseia-se na aplicação de calor simultaneamente com a inserção de vapor saturado, em conjunto com um sistema de eliminação de oxigênio (BATISTA, 2012). A empresa se refere ao produto como advindo de um termotratamento, utilizando a terminologia TMT (*Termally Modified Timber*).

O processo VAP HolzSysteme® é caracterizado por compor cinco etapas distintas (BATISTA, 2012). Primeiramente a madeira é submetida a um aquecimento inicial com vapor saturado até 100°C. Após, a temperatura é aumentada a 115°C, nessa condição é mantida constante por 25 minutos. Decorrido a segunda etapa, inicia-se o aquecimento secundário, que consiste em elevar a temperatura em uma faixa de 160 a 180°C, com tempo variável de acordo com determinada taxa de aquecimento, no qual depende do propósito final. Na quarta etapa, inicia-se a termorretificação propriamente dita, que consiste na fixação da temperatura constante (160 a 180°C) por 45 minutos. Ao término do processo, a madeira submetida ao tratamento térmico é resfriada dentro da própria autoclave, até a temperatura ambiente.

3.3.6 OHT® - (Oil Heat Treatment)

As primeiras pesquisas relacionadas ao processo OHT® (Oil Heat Treatment) foram desenvolvidas pelo professor Dr. Andreas O. Rapp em parceria com o Centro Federal de Pesquisa Florestal de Hamburgo na Alemanha, em 1998. O objetivo principal do grupo de pesquisa baseava-se em aplicar um tratamento térmico inovador, visando melhorar as características biológicas, físicas e estéticas da madeira (MENZ, 2014).

O processo industrial iniciou na cidade de Reulbach (Alemanha) no ano 2000, com capacidade produtiva de 2.900 m³/ano. A empresa Menz Holz® foi a responsável pelo procedimento, patenteando o produto posteriormente. A partir desse momento, os principais países industrializados aderiram a este processo de modificação da madeira (MILITZ, 2002; HILL, 2006; MENZ, 2014). Com o passar do tempo, a empresa foi aprimorando o processo produtivo, fundamentando-se com base nos resultados da modificação térmica, assim uma nova

planta industrial foi instalada no ano de 2009 em parceria com a automação industrial da Scholz GmbH & Co. KG (MENZ, 2014).

Com a temperatura da termorretificação oscilando na faixa de 160°C a 260°C (LEITHOFF; PEEK, 1998; HILL, 2006; BAK; NÉMETH, 2012), foi possível utilizar óleo vegetal no processo, devido ao ponto de fulgor ser mais elevado do que a temperatura necessária para o tratamento térmico da madeira, com isso, pode-se realizar vários tratamentos utilizando-se óleo quente (BAK; NÉMETH, 2012; NEJAD et al., 2013). Dentre os principais óleos brutos utilizados, encontram-se os extraíveis de sementes de girassol, colza, linhaça e soja.

O princípio do processo OHT[®] baseia-se na utilização de óleo vegetal como atmosfera de transferência de calor, este por sua vez, detém uma rápida transferência de calor devido à elevada condutividade térmica, o que proporciona as mesmas condições de aquecimento, permitindo um controle preciso da temperatura se comparado a outros tratamentos térmicos (SAILER et al., 2000; MENZ, 2014)

O processo MENZ OHT[®] inicia-se com o carregamento da madeira em um sistema fechado, no qual o óleo é bombeado a partir do reservatório que situa-se acima do cilindro que é realizado a termorretificação. Terminado o processo, o óleo é bombeado novamente para o reservatório, e a madeira é descarregada (Figura 1) (MILITZ, 2002; MENZ, 2014).

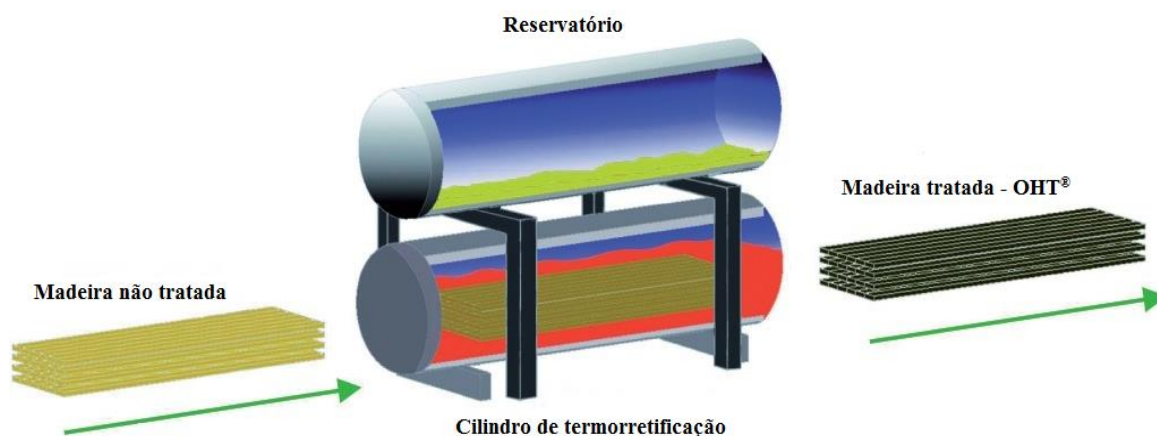


Figura 1 - Etapa do processo de termorretificação MENZ OHT[®].

Fonte: Adaptado de (MENZ, 2014).

O procedimento operado por MENZ OHT[®] divide-se em três fases, aquecimento, modificação térmica e condicionamento (Figura 2). Conforme (MENZ, 2014), para otimizar o processo de modificação térmica, a temperatura ideal encontrada foi entre 210 a 220°C.

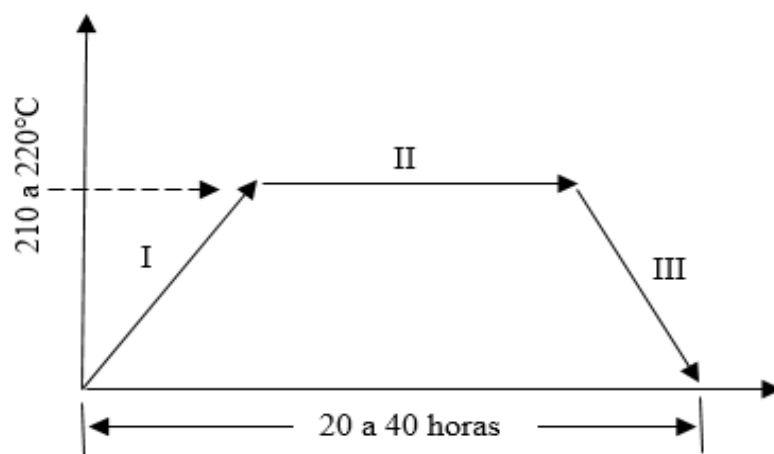


Figura 2 – Etapas do processo MENZ OHT[®]. I = Aquecimento; II = Modificação térmica; III = Condicionamento.

Fonte: Adaptado de (MENZ, 2014).

Entre os benefícios proporcionados pela madeira tratada em óleo vegetal (HILL, 2006; BAK; NÉMETH, 2012; MENZ, 2014), pode-se citar:

- Ausência de produtos químicos;
- Aumento da resistência biológica (organismos xilófagos e insetos)
- Melhoria da estabilidade dimensional;
- Mudanças colorimétricas;
- Formação de uma película superficial protetora na madeira;
- Baixa difusividade térmica.

Conforme Menz (2014), a madeira tratada em óleo vegetal proporciona uma gama de utilizações, como exemplo o emprego da madeira em fachadas, janelas, portas externas, mobiliário de jardim, cercas, decks, bancos de saunas e design de embarcações. Todas essas aplicabilidades têm em comum, a oscilação rotineira da umidade do ar, o que produz instabilidade ao material, caso a madeira não tenha sido tratada.

3.4 Uso do óleo vegetal na termorreificação

A utilização de óleos vegetais no processo de termorreificação vem sendo bastante estudada nas últimas duas décadas (RAPP; SAILER, 2000; TJEERDSMA; MILITZ, 2005; WANG; COOPER, 2005; DUBEY et al., 2012; MOHEBBY et al., 2014), os quais priorizam o óleo vegetal como atmosfera de calor, motivo pelo qual há uma transferência de calor uniformemente ao

longo da madeira, diferenciando de outros métodos usuais, como à vácuo e os que envolvem uma atmosfera gasosa (MILITZ, 2002).

Entre os principais óleos já utilizados no processo térmico, pode-se citar o óleo de girassol (*Helianthus annuus*) (SAILER et al., 2000), óleo de canola (*Brassica napus*) (SIDOROVA, 2008; BAK; NÉMETH, 2012), óleo de linhaça (*Linum usitatissimum*) (BAZYAR, 2012; DUBEY et al., 2012) e óleo de soja (*Glycine max*) (SAILER et al., 2000; MOHEBBY et al., 2014). Os principais motivos para a escolha de um óleo ou outro, está na disponibilidade de aquisição do produto, preço de compra, composição química e por fim o resultado alcançado após a aplicação dos tratamentos térmicos.

As pesquisas voltadas à utilização do óleo vegetal para a finalidade de tratamentos térmicos se adaptam diretamente a produção de cada região, como exemplo a o óleo de canola que é principalmente cultivado na Europa, Ucrânia e Rússia, o óleo de girassol na Rússia, Ucrânia, Argentina, Índia, e o óleo de soja, Estados Unidos, Brasil, Argentina e Paraguai (USDA, 2014). No entanto, na América do Sul o uso do óleo vegetal no processo de termorreificação da madeira ainda são escassos.

No Brasil, a soja tem destaque devido principalmente à sua produção, demanda de mercado interno e externo, e adaptação às condições edafoclimáticas (MMA, 2006). Conforme a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Na safra 2012/2013 a produção brasileira atingiu a marca de 81,5 milhões de toneladas, o que corresponde a 44,7% da produção de grãos (CONAB, 2014; USDA, 2014). Na mesma safra, produziu aproximadamente 6,6 milhões de litros de óleo de soja, o que corresponde a 15,5% da produção mundial, ficando atrás de China e Estados Unidos. Já as exportações ficaram em segundo lugar com um montante de 1,25 milhões de litros, que se destinaram principalmente para China e Índia. O consumo doméstico brasileiro foi o terceiro em escala mundial, com a marca de 5,5 milhões de litros (USDA, 2014). Visto a ampla importância e disponibilidade do óleo de soja no Brasil, torna-se viável a utilização desse produto para fins de pesquisas industriais voltadas ao tratamento térmico da madeira.

3.5 Influência da termorretificação nas propriedades da madeira

3.5.1 Alterações químicas

Compreender as inúmeras mudanças químicas que ocorrem durante o processo de termorretificação da madeira exige um conhecimento básico de sua composição e estrutura química. Os principais componentes químicos da madeira (celulose, hemicelulose e lignina), bem como, os extrativos, apresentam formas diferentes de degradação, quando submetidos ao calor (HILL, 2006; FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION, 2003).

As hemiceluloses são os primeiros compostos estruturais a serem afetados termicamente, mesmo a baixas temperaturas (NUOPPONEN et al., 2005). A degradação é iniciada pela desacetilação, com formação do ácido acético, que por sua vez serve como catalisador da despolimerização, que aumenta ainda mais a decomposição do polissacarídeo (HOMAN et al., 2000; AWOYEMI et al., 2009). O ácido formado serve como acelerador da reação de hidrólise da hemicelulose em açúcares solúveis, ou seja, é responsável pela degradação catalisada dos polissacarídeos (HILL, 2006; SUNDQVIST et al., 2006). Conforme Batista (2012), com a alteração térmica das hemiceluloses há formação de carboidratos de baixo peso molecular e outros compostos, de acordo com a temperatura de termorretificação.

A celulose também é degradada termicamente, no entanto, em menor proporção em comparação com a hemicelulose. A região menos ordenada da molécula de celulose (região amorfa) tem maior alteração com relação a região ordenada (região cristalina), devido às fortes ligações coesivas dessa última que a protege contra o ataque do ácido acético durante a hidrólise (FENGEL; WEGENER, 1984; HILL, 2006). Além disso, a acessibilidade de ligações glicosídicas de celulose, que podem ser degradadas por ácidos formados, é restrita se comparada à de hemiceluloses (BOONSTRA; TJEERDSMA, 2006). Enquanto que as hemiceluloses iniciam sua degradação em aproximadamente 120°C, as celulosas (região amorfa) se degradam em temperaturas acima de 200°C, já para região cristalina isto ocorre na faixa de 300 a 340°C (KIM et al., 2001; HILL, 2006).

A lignina é constituída principalmente por unidades fenilpropano, das quais apresentam grupos hidroxilo e metoxilo, que são unidas por vários tipos de ligações, entre elas as covalentes, como éter, éster e glicosídicas (SJÖSTRÖM, 1993). As ligações éteres são mais estáveis, uma vez que as ligações ésteres são facilmente clivadas por bases e as ligações glicosídicas por ácidos (MARQUES, 2011). Por apresentar uma estrutura complexa, são mais resistentes a ação do calor, sendo que a partir de 200 a 230°C começam as modificações da

parte estrutural, reações de condensação e formação de ligações cruzadas da lignina (ESTEVES; PEREIRA, 2009). Conforme a Finnish Thermowood Association (2003), a alteração da lignina influencia diretamente na facilidade de colagem e durabilidade de peças de madeira. Altas temperaturas (acima de 230°C) promovem a redução do teor de grupos metoxilo e algumas das unidades não-condensadas da lignina são transformados em unidades do tipo de difenilmetano. A reação tem efeito significativo sobre as propriedades da lignina no tratamento de calor, tal como a sua cor, reatividade e dissolução.

Os extrativos são responsáveis principalmente pela cor, cheiro e resistência da madeira ao apodrecimento. Tais características, são advindas de compostos fenólicos e alifáticos, bem como, de terpenos (RAPP, 2001). Grande parte dos extrativos são volatilizados com o tratamento térmico, bem como, o aparecimento de novos produtos advindo da degradação de polímeros estruturais (ESTEVES et al., 2008a). Conforme Poletto (2014), o elevado conteúdo de extrativos, em geral, antecipam a degradação da madeira quando submetida ao processo de termorretificação e quando associados à degradação da hemicelulose e lignina podem contribuir para a degradação da celulose em baixas temperaturas.

3.5.2 Alterações físicas

O processo de termorretificação tem grande influência sobre as propriedades físicas da madeira, beneficiando, por exemplo a estabilidade dimensional, a higroscopicidade, o teor de umidade de equilíbrio, a anisotropia de inchamento e ângulo de contato) e prejudicando outras (perda de massa) (DUBEY et al., 2012; MOURA et al., 2012; CADEMARTORI et al., 2013b; CHAOUCH et al., 2013; CONTE et al., 2014). A degradação dos grupos hidroxilas presente principalmente nas holoceluloses, são os principais responsáveis pelas alterações físicas da madeira, no qual estão diretamente correlacionadas as condições dos tratamentos, ou seja, quanto maior a temperatura do processo, maior será a degradação dos grupos hidroxilas (ESTEVES; PEREIRA, 2009; KORKUT; BUDAKÇI, 2009).

A aumento da estabilidade dimensional da madeira após a aplicação dos tratamentos térmicos foi comprovada por diversos autores (GÜNDÜZ et al., 2008; SRINIVAS; PANDEY, 2012; DELUCIS et al., 2014). Quirino e Vale (2002), afirmam que a estabilidade da madeira está correlacionada a diminuição da higroscopicidade, devido principalmente à degradação das hemiceluloses. Em consequência disso, Esteves e Pereira (2009) asseguraram que a estabilidade da madeira após os tratamentos térmicos, é inversamente proporcional à sua umidade de

equilíbrio. Segundo Tjeerdsma et al. (1998) tal propriedade está associada também há quantidade de grupos fenólicos presentes após o tratamento térmico, como consequência da desmetilação dos grupos metoxilos das unidades glaiacil e siringil da lignina, ou provavelmente a uma maior proporção de sítios orto livre devidos à desmetoxilação dos mesmos grupos metoxi.

O teor de umidade de equilíbrio, bem como, a anisotropia de inchamento, apresentam decréscimos conforme a severidade dos tratamentos de termorreificação (CALONEGO et al., 2012; CADEMARTORI et al., 2013a; CONTE et al., 2014; DELUCIS et al., 2014; MISSIO, 2014). Entre os fatores que influenciam, está a temperatura, a espécie, a atmosfera de submissão dos tratamentos e em alguns casos o tempo de exposição ao calor (BORGES; QUIRINO, 2004; TUONG; LI, 2011; DUBEY et al., 2012; MISSIO, 2014).

Com relação à perda de massa, está aumenta em função da temperatura dos tratamentos de termorreificação, desse modo, há necessidade de se obter o equilíbrio entre as propriedades físicas, pois o aumento dessa propriedade refletirá no decréscimo da resistência mecânica da madeira (MOURA et al., 2012). Vários autores demonstraram a influência direta da temperatura (ALMEIDA et al., 2009; CADEMARTORI et al., 2012; CONTE et al., 2014) e da atmosfera de transmissão de calor (MOURA et al., 2012) na perda de massa da madeira. Bal e Bektas (2012) afirmaram que a maturidade do lenho da árvore influência na perda de massa, sendo mais pronunciado no lenho juvenil, provavelmente devido à menor rigidez da parede celular.

3.5.3 Alterações mecânicas

A aplicação de calor na madeira resulta em diferentes respostas das propriedades mecânicas. O acréscimo da temperatura de termorreificação pode ocasionar efeito reversível quando se refere as mudanças transitórias ao nível interno de energia e irreversível quando relaciona à reorganização estrutural dos polímeros da madeira, conforme o nível de degradação (CALONEGO, 2009).

Temperaturas acima de 180°C pronunciam a degradação do módulo de ruptura (MOR), principalmente devido à quebra de cadeias de holocelulose (HILL, 2006), além de apresentar forte relação com a perda de massa (BOONSTRA et al., 2007). De acordo com Missio (2014), o MOR tem alta relação com a temperatura de termorreificação, já o módulo de elasticidade não se altera significativamente diante do tratamento térmico (sob temperaturas de 180 e 200°C). A explicação genérica é descrita por Boonstra et al. (2007), na qual atribuem ao efeito da

degradação das hemiceluloses, que ocasiona a elevação da celulose cristalina e de ligações cruzadas na lignina, conferindo maior rigidez a madeira.

A flexão dinâmica é a propriedade mecânica mais prejudicada pelo processo de termorretificação, na qual relaciona-se diretamente a temperatura e tempo de exposição (KORKUT; BUDAKÇI, 2009). Conforme Davids e Thompson (1964), a principal responsável pela diminuição da resistência da madeira ao impacto é a degradação das hemiceluloses, sendo isso devido à quebra de ligações secundárias entre a celulose e hemiceluloses (clivagem – arranjo cristalino) que determinam a resistência da madeira ao impacto (BOONSTRA et al., 2007). Os mesmos autores afirmaram que o aumento da quantidade de celulose cristalina, devido à também pode ter impacto negativo sobre a resistência ao impacto.

Conforme a Finnish Thermowood Association (2003), para a madeira de pinus, a dureza Janka apresentou pequenos acréscimos, já para a resistência ao cisalhamento houve decréscimos e compressão paralela as fibras não houve diferença entre as temperaturas avaliadas (100 a 240°C). Para as folhosas, servindo de base as madeiras do gênero *Eucalyptus*, houveram decréscimos nas propriedades supracitadas anteriormente (KORKUT et al., 2008).

3.5.4 Alterações colorimétricas

A maioria das propriedades organolépticas da madeira, como textura, grã, cor e brilho são inerentes a cada espécie. Os tratamentos térmicos surgem como opção de mudança da superfície da madeira, proporcionando alterações benéficas as propriedades colorimétricas (DAGBRO et al., 2010). Geralmente madeiras de cor clara são consideradas menos apelativas, desse modo, o escurecimento torna-se uma importante vantagem do tratamento térmico, fornecendo à madeira um "tom tropical", resultando na valorização do produto final (ESTEVES et al., 2008b). O escurecimento da madeira é evidente conforme a exposição a altas temperaturas (CADEMARTORI et al., 2013a; CONTE et al., 2014; MATTOS et al., 2014) o qual proporciona maior valor estético, aumentando o interesse de madeiras antes desvalorizadas por suas características intrínsecas (OLARESCU et al., 2014).

A formação da cor está relacionada com os processos de degradação de componentes estruturais de madeira e extrativos que ocorrem durante o processamento de modificação térmica (HON, 1976). A termorretificação da madeira proporciona a homogeneidade da cor em toda a sua espessura, o que é útil quando o processo de usinagem for necessário, além de mascarar manchas e descolorações da superfície (MOURA; BRITO, 2011). Conforme Fonseca

(2004), a coloração induzida à madeira pelo calor é relevante devido à tendência global para reduzir o uso de revestimentos à base de solvente, principalmente no tratamento de mobiliário.

A descrição da cor auxilia a classificação e valorização de cada peça de madeira específica. A simples avaliação visual de um produto, leva muitas vezes, impressões pessoais o que resulta em uma análise subjetiva, por isso, é nítida a necessidade de se utilizar métodos quantitativos de colorimetria (MORI et al., 2004; PINCELLI et al., 2012). O padrão usualmente mais utilizado de análise quantitativa da cor da madeira é o descrito pela Commission Internationale de L'éclairage (CIE) obtido pelos parâmetros claridade (L^*), coordenadas cromáticas (a^* e b^*), saturação de cor (C^*), ângulo de tinta (h°) e variação de cor (ΔE) evidenciado na Figura 3 (MORI et al., 2004).

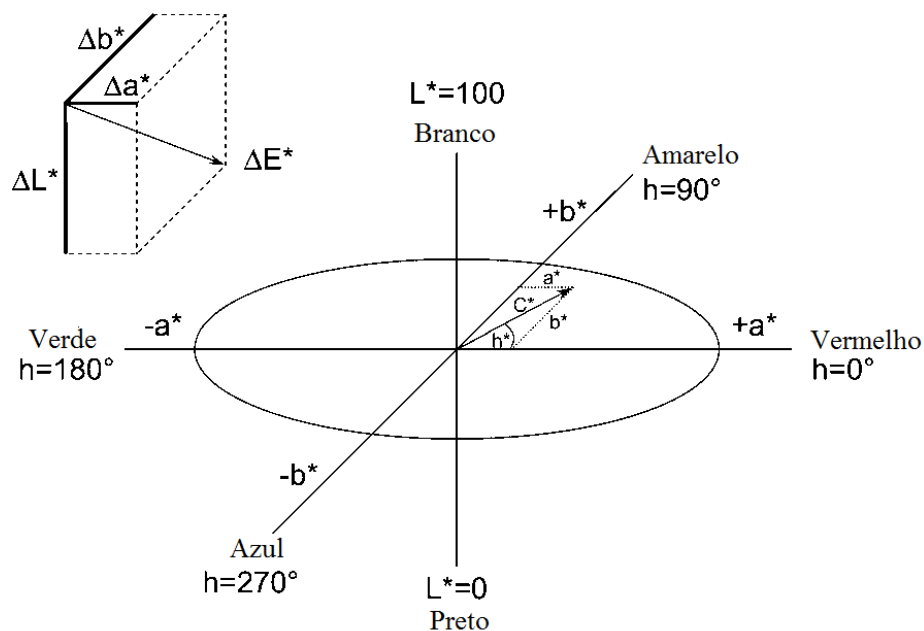


Figura 3 – Espaço de cor CIE L^* a^* b^* tridimensional. ΔL^* , Δa^* e Δb^* (variação da claridade e cromáticas a^* e b^* , respectivamente), ΔE = variação de cor.

Fonte: González-Peña e Hale (2009) – Modificado.

Além da analogia estética adotada aos parâmetros colorimétricos da superfície da madeira termorretificada, nos últimos anos houve forte interesse de relacionar tais parâmetros com as propriedades físicas (perda de massa, teor de umidade de equilíbrio, estabilidade dimensional) (ESTEVEZ et al., 2008b; GONZÁLEZ-PEÑA; HALE, 2009; SRINIVAS; PANDEY, 2012; OLARESCU et al., 2014), mecânicas (módulo de ruptura e de elasticidade) (TODOROVIC et al., 2012) e químicas (GIERLINGER et al., 2004; GONZÁLEZ-PEÑA; HALE, 2009; SANDOVAL-TORRES et al., 2010) da madeira termorretificada.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local, seleção e coleta da matéria-prima

4.1.1 Madeira

A madeira utilizada foi proveniente de árvores de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell e *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, procedente de dois plantios homogêneos da Universidade Federal de Santa Maria (29° 43' 00" S, 53° 43' 18" N) situado no município de Santa Maria, RS. O clima da região é o subtropical úmido (Cfa), com precipitação anual variando de 1600 a 1900mm e temperatura média anual de 18 a 20°C (ALVARES et al., 2013). O solo em que se encontrava os plantios é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico Arênico (EMBRAPA, 2013).

Ambos os plantios foram implantados em 1993, desse modo, no momento do abate das árvores o povoamento apresentava aproximadamente 21 anos. O espaçamento inicial foi de 3 x 2m, em seguida no ano de 2001 foi realizado um desbaste sistemático, ficando ao fim o espaçamento de 3 x 4m. O sistema de amostragem adotado para a seleção das árvores seguiu com base na área basal média do povoamento no momento do corte.

Inicialmente foram instaladas temporariamente parcelas retangulares de 20 x 30m, visando inventariar a área de amostragem, essas foram alocadas aleatoriamente, contudo, evitou-se parcelas de borda a fim de evitar superestimativas. Foi mensurado o diâmetro a altura do peito (1,3m do solo) e altura total visando quantificar a área basal e volume individual das árvores amostradas. Após o levantamento, foi constatado a área basal média de 0,1134m² e 0,1963m², respectivamente para *E. cloeziana* e *E. grandis*. Com isso, selecionou-se três árvores de cada espécie com maior proximidade da área basal média (Tabela 1).

Tabela 1 - Características dendrométricas das árvores selecionadas de *E. cloeziana* e *E. grandis*.

Espécie	DAP (cm)	Área basal (m²)	Altura total (m)	Volume (m³)
<i>E. cloeziana</i> *	40,4	0,1282	33,4	1,9696
	38,5	0,1164	32,1	1,7188
	36,7	0,1058	27,5	1,3384
<i>E. grandis</i> **	51,3	0,2067	35,5	3,1553
	49,8	0,1948	32,5	2,7223
	46,4	0,1691	30,8	2,2396

DAP = Diâmetro a altura do peito (1,3m do solo). * fator de forma de 0,46; ** fator de forma 0,43.

Após a seleção das árvores, as mesmas foram derrubadas e seccionadas em toretes de 3 metros, no qual, como padronização utilizou-se a primeira tora (próxima a base) como matéria-prima para a confecção dos corpos de prova. Posteriormente, as toras foram encaminhadas a uma serraria local, onde retirou-se o pranchão central de 8cm de espessura, em seguida foram gradeadas ao ar livre, para uma secagem gradual por um período de seis meses.

4.1.2 Óleo vegetal

Como meio de aquecimento para o processo de termorretificação utilizou-se óleo de soja refinado – Tipo 1 (ADM[®] – Lote: LCG 1111) oriundo do comércio local. O produto segue as normas da resolução - RDC nº 482, de 23 de setembro de 1999 (ANVISA, 1999), apresentando as características descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Principais características do óleo de soja utilizado no estudo.

Característica física		
Densidade relativa (g/cm ³)	0,919 – 0,925 (20°C)	
Composição dos ácidos graxos		
Ácidos graxo	Nomenclatura	g/100g
C < 14	-	< 0,1
C 14:0	Mirístico	< 0,5
C 16:0	Palmítico	7 - 14
C 16:1	Palmitoléico	< 0,5
C 18:0	Esteárico	1,4 – 5,5
C 18:1	Oléico	19 - 30
C 18:2	Lonoléico	44 - 62
C 18:3	Linolênico	4 - 11
C 20:0	Araquídico	< 1
C 20:1	Eicosenóico	< 1
C 22:0	Behênico	< 0,5

Fonte: (ANVISA, 1999).

A escolha dessa oleaginosa baseou-se na produção brasileira, consumo da população e facilidade de aquisição. A decisão de se optar por óleo refinado (obtido pelo processo de extração e refino) e não reciclável (óleo de cozinha usado) foi pelo princípio de padronização do óleo em todos os tratamentos, fazendo com que este fator não influencia-se no experimento. Outra justificativa para tal uso, fundamenta-se, futuramente, em uma possível reutilização do óleo reciclável como meio de aquecimento no processo de termostabilização, por isso não se optou pelo óleo bruto (obtido somente pelo processo de extração).

4.2 Preparo dos corpos de prova

Após a secagem dos pranchões, esses foram reduzidos à corpos de prova conforme a norma (ASTM, 2000) e (ABNT, 1997), com dimensões prescritas na Tabela 3. Para isso, foi necessário utilizar uma plaina desengrossadeira, serra circular e destopadeira, no qual, desconsiderou-se a medula no momento dos cortes. Os corpos de prova foram orientados conforme as direções tangencial, radial e transversal, em que, considerou-se apenas as peças com presença de cerne e ausência de defeitos, tanto inerentes a madeira, como advindas do processo de secagem e/ou desdobro.

Tabela 3 – Dimensões dos corpos de prova para a determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *E. cloeziana* e *E. grandis*.

Ensaio	Dimensões (T x R x L, mm)	Norma
Flexão estática*	10 x 10 x 200	ASTM D143 (ASTM, 2000)
Flexão dinâmica	20 x 20 x 280	NBR 7190 (ABNT, 1997b)
Dureza Janka**	30 x 30 x 100	ASTM D143 (ASTM, 2000)
Físicos	30 x 20 x 50	NBR 7190 (ABNT, 1997b)

* Adaptação da norma American Society for Testing and Materials - ASTM D143-94. Com a utilização de corpos de prova de seção transversal de 1 x 1 cm, fixou-se o vão de 14 vezes a altura e relativamente adaptou-se a velocidade de ensaio para 0,52 mm/min. T = tangencial, R = Radial, L = Longitudinal. ** Adaptação da norma.

Após a confecção dos corpos de prova, esses foram dispostos em câmara climatizada sob condições de 20°C e 65% de umidade relativa do ar, até alcançarem peso constante (equilíbrio higroscópico), com isso considerou-se como ponto de partida para a aplicação dos tratamentos de termorreificação.

4.3 Tratamentos de termorreificação

Os tratamentos foram definidos em função da espécie (*E. cloeziana* e *E. grandis*), temperatura (160°C, 190°C, 220°C) e do tempo (2h, 4h, 6h) de exposição das amostras no processo de termorreificação em óleo de soja, além dos tratamentos controle, totalizando 20 tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4 – Tratamentos de termorreificação das espécies *E. cloeziana* e *E. grandis*.

Espécie	Tratamento	Temperatura (°C)	Tempo (h)	
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	Controle	-	-	
	160-2		2	
	160-4	160	4	
	160-6		6	
	190-2		2	
	190-4	190	4	
	190-6		6	
	220-2		2	
	220-4	220	4	
	220-6		6	
	<i>Eucalyptus grandis</i>	Controle	-	-
		160-2		2
160-4		160	4	
160-6			6	
190-2			2	
190-4		190	4	
190-6			6	
220-2			2	
220-4		220	4	
220-6			6	

Foram utilizadas 15 repetições para cada ensaio físico e mecânico (flexão estática, flexão dinâmica, dureza Janka), desse modo, cada tratamento conteve 60 corpos de prova, totalizando 1.200 no experimento, distribuídos entre as duas espécies.

4.4 Processo de termorreificação

O processo de termorreificação foi executado com auxílio de um banho de óleo laboratorial Quimis® modelo Q213-22. Possui controlador de temperatura microprocessado com duplo display, com a função PID (Proporcional - Integral - Derivativo) que realiza correções automáticas, proporcionando maior segurança no controle de temperatura. O equipamento possui capacidade de 16 litros, com sensor de temperatura tipo “J” encapsulado em aço inox e sua faixa de trabalho está entre 50°C a 300°C, com precisão do sistema de $\pm 0,6^\circ\text{C}$. Para proporcionar a homogeneização do fluido, este possui um tanque em inox sem soldas e com cantos arredondados, além de um motor elétrico com eixo rotativo visando à circulação e homogeneização da temperatura do óleo entre as peças de madeira.

O procedimento iniciou com a disposição dos corpos de prova em óleo de soja na temperatura ambiente, utilizando-se em cada tratamento 12,6 litros do fluido. Optou-se pela

não reutilização do óleo em tratamentos posteriores, afim de evitar influências das possíveis alterações físicas ocorridas no óleo após a aplicação da temperatura e consequentemente no tempo de exposição, podendo este fator ser influente na penetração do fluido na madeira.

Ao iniciar a termorretificação anotou-se a temperatura inicial do óleo para o cálculo da taxa de aquecimento, essa por sua vez, variou conforme a temperatura dos tratamentos, visto que inicialmente há uma alta taxa de aquecimento e ao decorrer do processo este diminui ao momento que se atinge a temperatura desejada (Tabela 5).

Tabela 5 – Taxa de aquecimento para os tratamentos de termorretificação em óleo de soja.

Tratamento*	T.I.O (°C)	T.N.A.T.T (min)	T.A (°C/min)
160-2	28,6	33,5	3,92
160-4	29,4	31,5	4,15
160-6	27,9	31	4,26
Média	-	32	4,11
190-2	27,8	43	3,77
190-4	28,7	41,5	3,89
190-6	26,6	40,5	4,03
Média	-	41,6	3,89
220-2	27,1	49,5	3,9
220-4	28,6	49	3,91
220-6	28,1	49,5	3,88
Média	-	49,3	3,89

Em que: T.I.O = Temperatura inicial do óleo; T.N.A.T.T = Tempo necessário para atingir a temperatura do tratamento; T.A = Taxa de aquecimento. *Em cada tratamento considerou-se a média do processo de termorretificação de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

A contagem do tempo de termorretificação iniciou no momento em que o óleo atingiu a temperatura pré-determinada, fixando-se os tempos de termorretificação conforme os tratamentos. Atingido o tempo estabelecido, o banho de óleo era desligado e os corpos de prova eram retirados com posterior escoamento. Em seguida foram transferidos para uma estufa laboratorial com circulação forçada de ar por um período e temperatura padrão de 1h e 103°C, respectivamente, com objetivo de “curar” o óleo presente nos corpos de prova.

Em seguida, os corpos de prova foram dispostos em câmara climatizada (20°C e 65% umidade relativa) até atingirem o equilíbrio higroscópico, para assim realizar-se os ensaios físicos, mecânicos, químicos e superficiais da madeira de *E. cloeziana* e *E. grandis*. Ressalta-se que os corpos de prova controle (sem tratamento) permaneceram na câmara climatizada desde o momento de confecção dos mesmos até a realização dos ensaios de caracterização.

4.5 Ensaios físicos

4.5.1 Variação percentual de massa

Na determinação da variação percentual de massa (VPM), foi necessário pesar os corpos de prova antes e depois do processo de termorreificação, para isso utilizou-se balança analítica com precisão de duas casas decimais. Como houve a padronização da condição climatizada para o início dos tratamentos, se fez necessário utilizar a Equação 1 para encontrar a massa seca dos corpos de prova.

$$M_{\text{seca}} = \frac{M_{\text{clim}}}{1 + TU_{\text{eq}}/100} \quad \text{Equação 1.}$$

M_{seca} = massa seca dos corpos de prova (gramas); M_{clima} = massa dos corpos de prova na condição 20°C e 65% de umidade relativa (UR), em gramas; TU_{eq} = teor de umidade de equilíbrio na condição 20°C e 65% de UR.

Após a determinação da M_{seca} , pode-se definir a VPM conforme a Equação 2.

$$VPM = \frac{M_{\text{seca(a)}} - M_{\text{seca(b)}}}{M_{\text{seca(a)}}} \cdot 100 \quad \text{Equação 2.}$$

VPM = Variação percentual de massa (%); $M_{\text{seca(a)}}$ = massa seca dos corpos de prova antes da termorreificação; $M_{\text{seca(b)}}$ = massa seca dos corpos de prova após a termorreificação.

4.5.2 Massa específica básica

Para a determinação da massa específica básica ($\rho_{\text{básica}}$) utilizou-se as mesmas amostras em que foi determinado o teor de umidade de equilíbrio, no entanto, após a secagem das amostras a 103°C, essas foram imersas em água até atingirem massa constante, no qual, considerou-se como saturadas (Equação 3). Em seguida, as amostras foram mensuradas as direções tangencial, radial e transversal com auxílio de um paquímetro digital com precisão de duas casas decimais.

$$\rho_{\text{básica}} = \frac{M_{\text{seca}}}{V_{\text{sat}}} \quad \text{Equação 3.}$$

Em que: $\rho_{\text{básica}}$ = massa específica básica (g/cm^3); M_{seca} = massa seca após a secagem em estufa a 103°C , em gramas; V_{sat} = volume saturado, em cm^3 .

4.5.3 Teor de umidade de equilíbrio

A determinação do teor de umidade de equilíbrio (TU_{eq}) foi calculada conforme a norma ASTM D143-94 (ASTM, 2000), através da Equação 4. Prontamente, após a realização dos ensaios de flexão dinâmica (amostras climatizadas em câmara a 20°C e 65% de UR) foi retirada uma amostra de aproximadamente 5cm de cada corpo de prova, perto da região de fratura. A amostra foi pesada na condição climatizada e encaminhada para a estufa de circulação forçada a 103°C até atingirem massa constante, em que, ao final foi novamente pesada.

$$TU_{\text{eq}} = \frac{M_{\text{clim}} - M_{\text{seca}}}{M_{\text{seca}}} \cdot 100 \quad \text{Equação 4.}$$

Em que: TU_{eq} = teor de umidade de equilíbrio (%); M_{clim} = massa climatizada a 20°C e 65% de UR, em gramas; M_{seca} = massa seca após a secagem em estufa a 103°C , em gramas.

4.5.4 Estabilidade dimensional

A estabilidade dimensional foi calculada conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997b) com dimensões prescritas na Tabela 3. Inicialmente, como ponto de partida, os corpos de prova foram secos a 103°C até atingirem peso constante, após isso, foram mensurados e posteriormente imersos em água por um período de 11 dias.

4.5.4.1 Inchamentos

Através da mensuração dos corpos de prova, antes e após a imersão em água, foi possível determinar os inchamentos radial (α_R), tangencial (α_T), longitudinal (α_L) pelas Equações (5, 6 e 7), respectivamente e a variação volumétrica (ΔV) pela Equação 8.

$$\alpha_R = \frac{R_{seco} - R_{sat}}{R_{seco}} * 100 \quad \text{Equação 5.}$$

$$\alpha_T = \frac{T_{seco} - T_{sat}}{T_{seco}} * 100 \quad \text{Equação 6.}$$

$$\alpha_L = \frac{L_{seco} - L_{sat}}{L_{seco}} * 100 \quad \text{Equação 7.}$$

$$\Delta V = \frac{V_{seco} - V_{sat}}{V_{seco}} * 100 \quad \text{Equação 8.}$$

Em que: α_r , α_t , α_l = inchamento na secção radial, tangencial e longitudinal, respectivamente (%); R_{seco} , T_{seco} , L_{seco} = dimensão do corpo de prova na condição seca, na secção radial, tangencial e longitudinal, em mm, respectivamente; R_{sat} , T_{sat} , L_{sat} = dimensão do corpo de prova na condição saturada, na secção radial, tangencial e longitudinal, em mm, respectivamente; ΔV = variação volumétrica, em %; V_{seco} , V_{sat} = volume dos corpos de prova na condição seca e saturada, em mm^3 , respectivamente.

4.5.4.2 Absorção e taxa de absorção em água

Inicialmente, os corpos de prova foram secos em estufa a 103°C até atingirem peso constante, logo após foram imersos em água, no qual, realizou-se medições contínuas em 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192, 216, 240, 264 e 268 horas. A absorção e a taxa de absorção foram determinadas, respectivamente, pela equação 9 e 10.

$$AA = \frac{M_{úmida} - M_{seca}}{M_{seca}} \cdot 100 \quad \text{Equação 9.}$$

$$TAA = \frac{M_{úmida} - M_{seca}}{\Delta t} \quad \text{Equação 10.}$$

Em que: AA = absorção em água (%); $M_{úmida}$ = Massa úmida do corpo de prova (g); M_{seca} = massa seca (inicial) dos corpos de prova (g); TAA = taxa de absorção em água (%); Δt = Intervalo de tempo entre a condição atual (úmida) e a condição inicial (seca), em horas.

4.6 Ensaios mecânicos

Antecedendo os ensaios mecânicos, todos os corpos de prova de ambas as espécies estavam na condição climatizada (20°C e 65% de umidade relativa do ar).

4.6.1 Flexão estática

Para o procedimento de flexão estática utilizou-se uma máquina universal de ensaios EMIC® - DL 2000 com capacidade de 20kN. Devido à redução dos corpos de prova de flexão estática (Tabela 3), foi necessário adaptar a norma ASTM D143-94 (ASTM, 2000), assim, fixou-se o vão de 14 vezes a altura e velocidade do ensaio para 0,52 mm/min. Diante disso, foi possível obter o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) das amostras controle (sem tratamento) e termorretificadas em óleo vegetal.

4.6.2 Flexão dinâmica

Para o ensaio de flexão dinâmica utilizou-se a norma NBR 7190 (ABNT, 1997b), para tal, utilizou-se um pêndulo de Charpy com capacidade de 100 joules. Os corpos de prova foram alocados sobre o vão da máquina (24 cm), no qual eram impactados por um pêndulo que se situa a 1 metro de altura, resultando assim no trabalho absorvido (W) em joules. Com os valores do W foi possível calcular a resistência máxima ao impacto ($f_{\text{máx}}$) pela Equação 11.

$$f_{\text{máx}} = \frac{1000 \times W}{b \times h} \cdot 100 \quad \text{Equação 11.}$$

Em que: $f_{\text{máx}}$ = resistência máxima ao impacto, (kJ/m²); W = trabalho absorvido, (Joule); b e h = dimensões transversais dos corpos de prova, (mm).

4.6.3 Dureza Janka

Para se determinar a dureza Janka utilizou-se a mesma máquina universal dos ensaios de flexão estática, adotando-se também a norma ASTM D143-94 (ASTM, 2000). O ensaio consiste na inserção de uma esfera com área projetada de 1 cm², até a metade de seu diâmetro

com uma velocidade de 6 mm/min. Foi realizado uma penetração nas direções radial, tangencial e longitudinal de cada corpo de prova.

4.7 Espectrometria no infravermelho por reflectância total atenuada

Com o propósito de se visualizar a influência da termorretificação em óleo vegetal na modificação química da madeira, utilizou-se a técnica de espectroscopia no infravermelho por reflectância total atenuada (ATR – IR). Para o procedimento selecionou-se aleatoriamente 6 amostras de flexão estática (climatizadas a 20°C e 65% de UR), no qual foram moídas em um moinho tipo Willye modelo – TE 680. Posteriormente, o material foi disposto em um agitador magnético dotado de peneiras, no qual realizava vibrações com o princípio de selecionar-se a granulometria desejada, para as análises utilizou-se a serragem que passava pela peneira de 60 mesh ISO 3310/1 (ABNT, 1997a).

Para a realização da ATR-IR utilizou-se um espectrofotômetro modelo FT/IR 4100 (Jasco) pertencente ao Laboratório de Ciência da Madeira da Universidade Federal de Pelotas. Antes de se iniciar a análise foi realizado um “background”, ou seja, um ensaio em branco, para verificar o funcionamento do instrumento e checar alguma possível interferência e/ou impureza que possa ser encontrada no cristal de ATR (*Attenuated Total Reflectance*). O equipamento utilizou 30 a 40 varreduras automáticas em absorvância, resolução de 4 cm^{-1} e leituras entre 650 e 4000 cm^{-1} .

4.8 Análise Colorimétrica

As análises colorimétricas foram realizadas no espaço de cor CIE-L*a*b, para tal foi utilizado um colorímetro portátil Konica Minolta, modelo CR-400, com abertura do sensor de 8mm. Este equipamento permite realizar medições de cor através do contato direto entre a superfície da amostra, em pontos pré-determinados.

Optou-se por verificar a influência da termorretificação em óleo vegetal nas propriedades colorimétrica da superfície e do centro da peça, com objetivo de verificar a homogeneidade de coloração da peça. Foram utilizadas seis amostras por tratamento, sendo que para cada uma foram realizadas seis medições colorimétricas, três na superfície e as outras três no centro da peça. Os corpos de prova foram procedentes de amostras de flexão dinâmica, para tal, seccionou-se em dimensões de 10 x 2 x 2cm (L, R, T), no qual, foram posteriormente cortados longitudinalmente, resultando na dimensão 10 x 1 x 2cm (Figura 4).

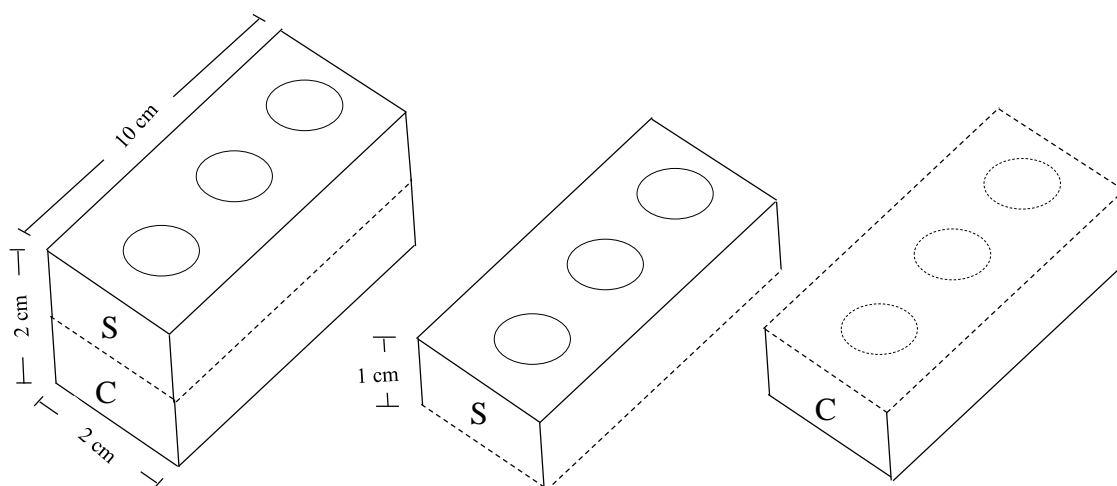


Figura 4 – Esquema de análise colorimétrica para as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*. S: Superfície; C: Centro. Círculo com linha contínua e pontilhada refere-se a mensuração da superfície e centro das peças, respectivamente.

Os parâmetros colorimétricos avaliados foram: claridade L^* (preto, 0 – branco, 100), coordenada cromática a^* (+ vermelho, - verde), coordenada cromática b^* (+ amarelo, - azul), saturação de cor C^* e ângulo de tinta h° . Já a variação de cor (ΔE) foi calculada conforme a Equação 12.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad \text{Equação 12.}$$

ΔE = variação de cor; ΔL^* = variação do parâmetro claridade; Δa^* = variação da coordenada cromática vermelho – verde; Δb^* = variação da coordenada cromática amarelo – azul. A variação dos parâmetros relaciona os corpos de prova termorretificados em óleo de soja com o tratamento controle.

4.9 Análise estatística

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial duplo (3x3), com três níveis para cada fator, sendo eles: temperatura (160°C, 190°C, 220°C) e tempo (2h, 4h, 6h). O fatorial foi considerado qualitativo, pois a análise tem por objetivo verificar as temperaturas e tempos específicos, e não o intervalo compreendido entre os níveis. Outro fator relevante para a escolha de fatores qualitativos, refere-se ao baixo número

de níveis em ambos os fatores, assim, com a perda de um grau de liberdade, se sujeita a equações lineares e quadráticas, além de resultar em um coeficiente de determinação ajustado baixo, no que dificultaria a discussão e precisão dos resultados, se adotados como quantitativos. A analogia esquematizada sob o método de análise dos dados foi utilizada por diversos pesquisadores (KORKUT et al., 2008; TUONG; LI, 2011; MOURA et al., 2012; BAL; BEKTAŞ, 2013; CADEMARTORI et al., 2013b).

Inicialmente, foram verificados os pressupostos de homogeneidade das variâncias e normalidade dos erros. No fatorial, primeiramente, verificou-se o efeito da interação entre os fatores (tempo x temperatura) através do teste F. Na presença de interação significativa ($p < 0,05$), há dependência entre os efeitos dos fatores tempo e temperatura, desse modo, procedia com o desdobramento da interação. Na ausência de interação ($p > 0,05$), os fatores tempo e temperatura agem de modo independente sobre a variável resposta, assim, os fatores eram avaliados separadamente. Para ambas as situações, eram realizadas comparações múltiplas pelo teste de Tukey.

Com o intuito de verificar quão distante foi a severidade ou eficiência da madeira tratada em comparação com o tratamento controle (referência), realizou-se o teste de Dunnett em nível de 5% de significância. O efeito do tratamento térmico em cada espécie (*Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*) foi analisado separadamente. O proposto possibilita analisar as possíveis interações entre os fatores, bem como, estimar a variância experimental com maior precisão, aumentando a eficácia dos testes estatísticos, além de se obter a comparação de cada tratamento com a madeira não tratada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Ensaio físicos

5.1.1 Variação percentual de massa

Normalmente a aplicação de tratamentos térmicos que envolvem calor resultam na perda de massa, no entanto, com a utilização do óleo vegetal como atmosfera de transferência de calor ocorre a variação percentual da massa (VPM) devido a absorção de óleo pela madeira durante o processo de termorretificação, ou seja, ocorre o acréscimo ou decréscimo de massa após os tratamentos (dependente da condição do tratamento). Em virtude disso, não foi realizada análise estatística dos dados (Figura 5).

Para ambas as espécies, na temperatura de 160°C houve o maior incremento em massa, já em 190°C os tratamentos proporcionaram equilíbrio entre o ganho e a perda de massa e em 220°C ocorreram as maiores perdas. Pode-se verificar que a madeira de *E. grandis* termorretificada na temperatura de 160°C apresentou maior ganho de massa em comparação com a madeira de *E. cloeziana* (Figura 5), provavelmente isso se deve a estrutura anatômica do lenho (proporção de parede e lúmen celular) e conseqüentemente com a massa específica do material. Contribuindo, Bazyar (2011) afirmou que o ganho de massa se deve há alterações da anatomia da madeira após o processo de termorretificação.

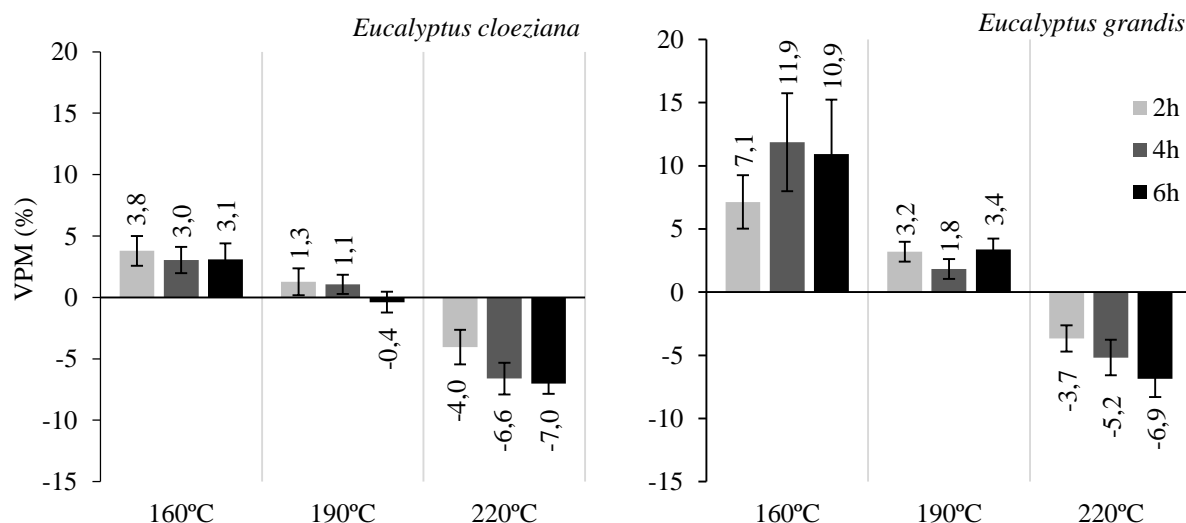


Figura 5 – Valores médios da variação percentual de massa (VPM) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretificada. Barra de erro referente ao desvio padrão.

Conforme Hill (2006) e Olsson et al. (2001) o tamanho da molécula de óleo vegetal é muito grande para penetrar na parede celular, desse modo, a maior parte do óleo absorvido pela madeira tratada fica retido nos lúmens celulares. Por apresentar maior proporção de lúmens, a madeira de *E. grandis* “armazenaria” uma maior quantia de óleo na comparação ao *E. cloeziana*, o que explica o acréscimo da massa da madeira.

Nas condições de acréscimo ou decréscimo de massa, ocorre a despolimerização dos compostos químicos da madeira (DUBEY et al., 2012), assim, quando há aumento de massa, a absorção de óleo da madeira foi maior que a decomposição dos compostos estruturais (principalmente as holoceluloses), já quando há VPM é negativa houve maior proporção de despolimerização do que absorção de óleo.

A despolimerização/decomposição dos compostos estruturais da madeira após a aplicação de tratamentos térmicos foi comprovada por diversos autores (BRITO et al., 2008; AYDEMIR et al., 2011; DUBEY et al., 2012; MISSIO, 2014), em que, temperaturas acima de 140°C já interferem na decomposição principalmente das hemiceluloses, pronunciado acima de 180°C (SUNDQVIST, 2004). Sendo assim, a aplicação de calor resulta em alterações permanentes na estrutura química da madeira (HILL, 2006; FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION, 2003).

5.1.2 Massa específica básica

Conforme a análise de variância fatorial (Apêndice – 1A), a massa específica básica ($\rho_{\text{básica}}$), entre os tratamentos térmicos, não foi influenciada pelos fatores, tanto analisados separadamente como em conjunto (interação) para ambas as espécies. Na Tabela 6, está representado os valores médios da $\rho_{\text{básica}}$ da madeira de *E. cloeziana* e *E. grandis* termorretificadas em óleo de soja.

Tabela 6 - Resumo estatístico para a massa específica básica (g/cm^3) da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* termorretificada em óleo de soja.

Espécie	Máximo	Mínimo	Média	CV (%)
<i>E. cloeziana</i>	0,75	0,54	0,64	8,7
<i>E. grandis</i>	0,65	0,48	0,56	7,3

CV = Coeficiente de variação.

Os resultados encontrados foram semelhantes a outras pesquisas que envolveram tratamentos térmicos na madeira do gênero *Eucalyptus* (CALONEGO et al., 2012; CADEMARTORI et al., 2014b; MISSIO, 2014), que não evidenciaram diferenças significativas na massa específica

sob diferentes temperaturas de tratamento. A não variação da massa específica básica evidenciada no presente estudo é resultado do balanceamento entre as modificações da massa da madeira com relação a mudança do volume (HILL, 2006).

Na análise comparativa (teste de Dunnett) entre a madeira tratada e o tratamento controle (Apêndice – 1C), não houve diferença significativa para a espécie *E. cloeziana*, já para a madeira de *E. grandis* houve significância. Na condição de 160°C, bem como, nos três períodos de termorretificação (2h, 4h e 6h), a massa específica básica foi influenciada para a madeira de *E. grandis* (Figura 6).

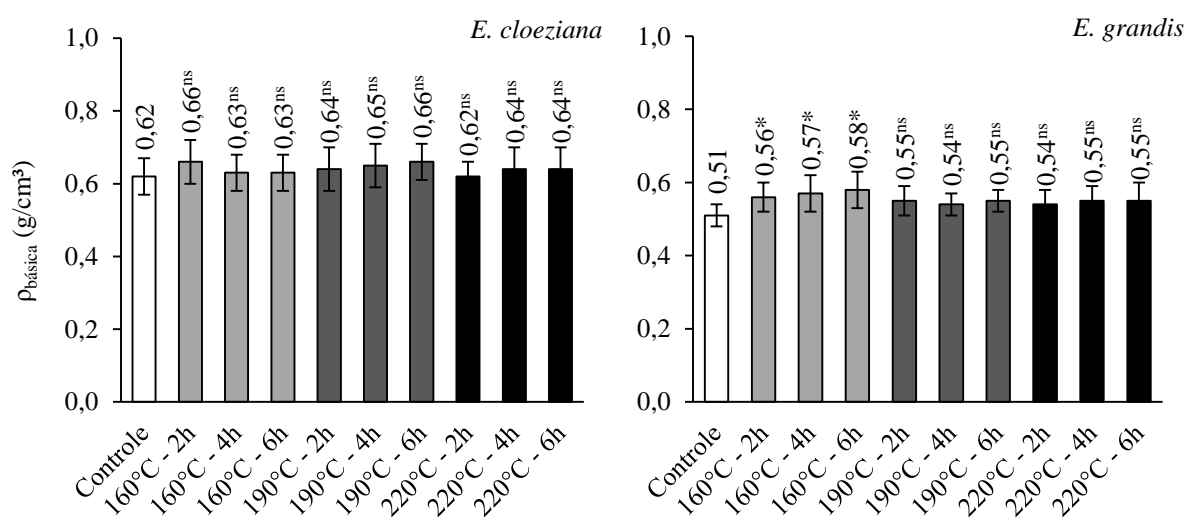


Figura 6 - Comparação de média pelo teste de Dunnett para a massa específica básica ($\rho_{\text{básica}}$) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*. A sigla dos tratamentos se refere à temperatura e ao tempo de termorretificação, respectivamente; *5% de significância; ns: Não significativo. Barra de erro referente ao desvio padrão.

O ligeiro aumento da massa específica básica está relacionado com a quantidade de óleo absorvido na madeira de *E. grandis* (Figura 5 – VPM). A explicação é válida pois ocorre o aumento da massa seca da madeira após a aplicação dos tratamentos térmicos, devido principalmente à substituição dos espaços preenchidos com ar (massa específica de $1,23 \times 10^{-6}$ g/cm³) pelo óleo de soja (massa específica do óleo 0,92g/cm³) que fica retido principalmente nos lúmens celulares. Devido ao óleo não penetrar na parede celular da madeira (HILL, 2006; OLSSON et al., 2001), este por sua vez, substitui a água livre/capilar, por isso não há o aumento do volume proporcionalmente ao acréscimo da massa da madeira, pois acima do ponto de saturação das fibras não há variação dimensional.

No entanto, à medida que se aumenta a temperatura dos tratamentos ocorre a maior despolimerização dos constituintes químicos, o que reflete diretamente no volume da madeira

e conseqüentemente na sua massa, contudo, se obtém um equilíbrio entre a alteração do volume e a absorção de óleo na madeira, resultando na não significância em comparação com o tratamento controle. Dessa forma, a massa específica não é o método mais indicado para verificar a qualidade da madeira termorretrificada (CALONEGO et al., 2012).

5.1.3 Teor de umidade de equilíbrio

Diante da análise de variância fatorial (Apêndice – 1A), o teor de umidade de equilíbrio (TU_{eq}) entre os tratamentos térmicos, resultou na interação entre os fatores para ambas as espécies avaliadas, ou seja, eles são dependentes entre si. Com o resultado da interação (Tabela 7), verifica-se que a medida em que se aumenta a temperatura e o tempo de exposição das amostras no processo térmico, ocorre a diminuição do TU_{eq} , exceto para os tratamentos a 160°C e 220°C da madeira de *E. cloeziana*, que não diferiram no tempo.

Tabela 7 - Resumo estatístico e teste de médias para o teor de umidade de equilíbrio (%) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretrificada.

Espécie	Tempo (h)	Temperatura (°C)		
		160	190	220
<i>E. cloeziana</i>	2	9,0 ^{±0,39} aA	7,7 ^{±0,49} bA	4,9 ^{±0,16} cA
	4	8,9 ^{±0,65} aA	7,8 ^{±0,40} bA	4,8 ^{±0,22} cA
	6	8,9 ^{±0,34} aA	6,9 ^{±0,39} bB	4,8 ^{±0,21} cA
<i>E. grandis</i>	2	8,87 ^{±0,48} aA	7,49 ^{±0,57} bA	5,02 ^{±0,23} cA
	4	8,59 ^{±0,61} aA	7,08 ^{±0,49} bB	4,92 ^{±0,31} cA
	6	8,12 ^{±0,40} aB	5,89 ^{±0,55} bC	4,47 ^{±0,19} cB

Letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey; Média^{±desvio padrão}; Diferença média significativa (DMS) para *E. cloeziana* na linha e na coluna = 0,34; DMS para *E. grandis* na linha e na coluna = 0,39.

A diminuição do TU_{eq} após aplicação de calor, foi constatada em diversas citações da literatura (BOONSTRA; TJEERDSMA, 2006; WELZBACHER et al., 2007; ROWELL et al., 2009; CADEMARTORI et al., 2013a; CONTE et al., 2014; DELUCIS et al., 2014). O motivo do decréscimo está associado a despolimerização dos constituintes químicos da madeira, principalmente as hemiceluloses, onde ocorre a redução de grupos OH e/ou clivagem das cadeias glicosídicas (AKYILDIZ; ATES, 2008). Esteves e Pereira (2009), afirmam que a utilização de temperaturas acima de 150°C promovem o acréscimo da celulose cristalina, resultante da degradação de sua região amorfa, contribuindo assim na diminuição da acessibilidade dos grupos hidroxilas e conseqüentemente na diminuição do TU_{eq} .

Na análise comparativa entre a madeira tratada com o tratamento controle (Apêndice – 1C), ambas as espécies apresentaram significância em todos os tratamentos de termorretificação. Tanto *E. cloeziana* como *E. grandis* diminuíram o TU_{eq} em relação ao tratamento controle. Realizando-se a média entre os tempos na temperatura específica, percebe-se a redução de 40,6% (160°C), 50,2% (190°C) e 67,5% (220°C) para a madeira de *E. cloeziana* tratada termicamente, já para *E. grandis* a redução foi de 40,3% (160°C), 52,2% (190°C) e 66,4% (220°C) (Figura 7).

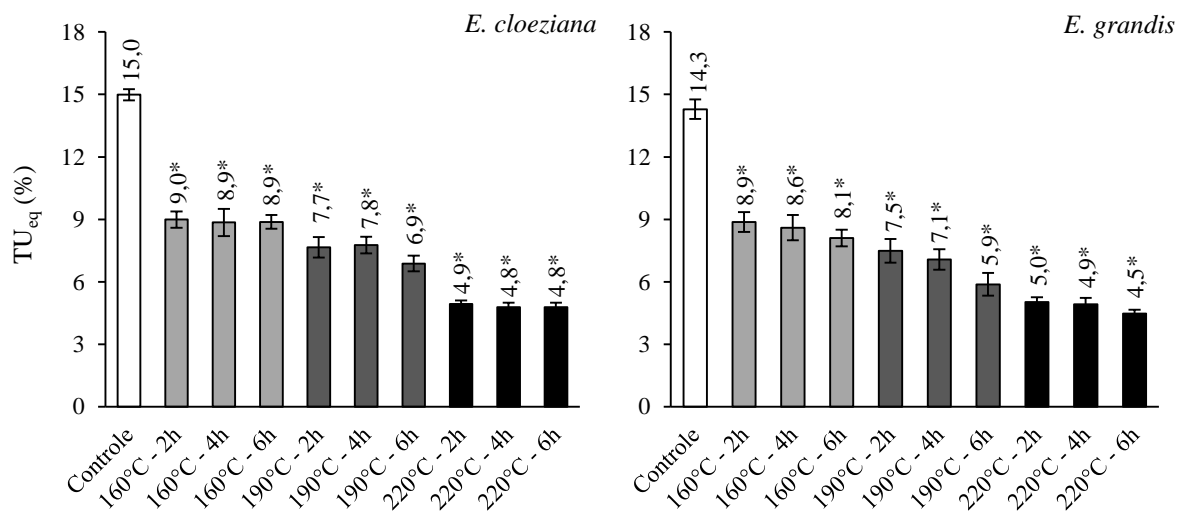


Figura 7 - Comparação de média pelo teste de Dunnett para o teor de umidade de equilíbrio (TU_{eq}) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*. A sigla dos tratamentos se refere à temperatura e ao tempo de termorretificação, respectivamente; *5% de significância; ns: Não significativo. Barra de erro referente ao desvio padrão.

Além da redução dos grupos OH da madeira, Rowell et al. (2009) e Boonstra et al. (2007) afirmam que a redução do TU_{eq} está relacionada a desidratação das pentoses (xiloses e arabinoses) e hexoses (glucose, manose, galactose) que formam furfural e hidroximetilfurfural, respectivamente, após a aplicação dos tratamentos térmicos, tornando a madeira menos suscetível quando em contato com a umidade. Diante da alteração do TU_{eq} da madeira, a termorretificação fornece subsídios em prol da melhoria dessa característica, agregando qualidade e valor ao novo produto gerado (BORGES; QUIRINO, 2004).

5.1.4 Inchamento longitudinal, radial, tangencial e volumétrico

Diante da relação existente entre as possíveis explicações do efeito dos tratamentos térmicos sobre os inchamentos da madeira, estes foram expostos em conjunto, sendo que ao

final, como um todo, esclarecidas as principais respostas da termorreificação sobre a madeira de *E. cloeziana* e *E. grandis*.

Para a madeira termorreificada de *E. cloeziana*, verificou-se por meio da ANOVA fatorial (Apêndice – 1B) que somente o fator temperatura foi significativo para o inchamento longitudinal (αL), ou seja, a temperatura age independentemente do tempo. Já para a madeira de *E. grandis* houve interação entre os fatores, evidenciando a dependência entre a temperatura e do tempo na modificação do αL .

Analisando a Tabela 8, é possível verificar que quanto maior a temperatura dos tratamentos menor foi o αL , tanto para *E. cloeziana* como em *E. grandis*. Já o tempo foi influente somente para a condição de 160°C da madeira de *E. grandis*, no entanto, não houve diferença entre 2 e 4 horas de exposição ao processo de termorreificação.

Tabela 8 - Resumo estatístico e teste de médias para o inchamento longitudinal (αL , %) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorreificada.

Espécie	DMS	Temperatura (°C)		
		160	190	220
<i>E. cloeziana</i>	0,05	0,33 ^{±0,12} a	0,27 ^{±0,12} b	0,17 ^{±0,09} c
	2	0,33 ^{±0,08} aA	0,18 ^{±0,11} bA	0,11 ^{±0,06} bA
<i>E. grandis</i>	4	0,37 ^{±0,08} aA	0,19 ^{±0,10} bA	0,09 ^{±0,05} cA
	6	0,25 ^{±0,06} aB	0,18 ^{±0,08} abA	0,12 ^{±0,05} bA

Letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey; DMS: Diferença média significativa; Média^{±desvio padrão}. A DMS para *E. grandis* na linha e na coluna foi de 0,07.

Na análise comparativa entre a madeira tratada com o tratamento controle (Apêndice – 1D), ambas as espécies analisadas apresentaram significância para o αL . No entanto, as madeiras de *E. cloeziana* e *E. grandis* termorreificadas em óleo de soja resultaram em significâncias diferentes conforme a severidade dos tratamentos (Figura 8). Para a madeira de *E. cloeziana* a diferença foi constatada somente na condição de 220°C do processo de termorreificação, com diminuição do αL em 48,5%, 57,6% e 42,4%, respectivamente para os tempos 2, 4 e 6 horas. Já para a madeira de *E. grandis* a diferença iniciou a partir do tratamento 160°C – 6h, alcançando redução máxima de αL na condição de 220°C – 4h de 78%.

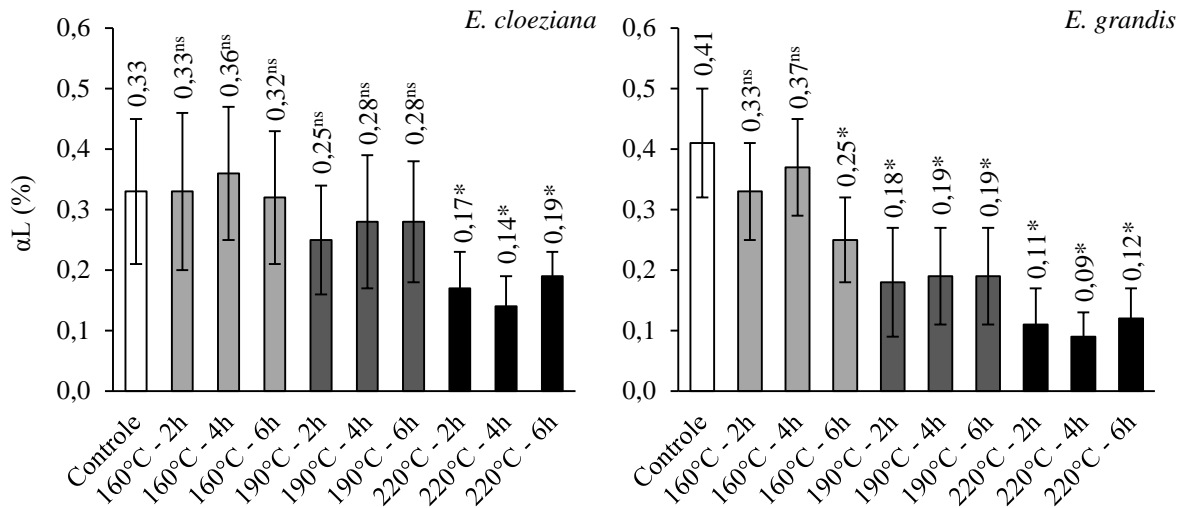


Figura 8 - Comparação de média pelo teste de Dunnett para o inchamento longitudinal (α_L) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*. A sigla dos tratamentos se refere à temperatura e ao tempo de termorretificação, respectivamente; *5% de significância; ^{ns}: Não significativo. Barra de erro referente ao desvio padrão.

Para o inchamento radial (α_R), a análise de variância fatorial (Apêndice – 1B), entre os tratamentos térmicos, demonstrou a não significância da interação para a madeira de *E. cloeziana* e *E. grandis*, no entanto houve diferença para o fator temperatura em ambas as espécies, já o fator tempo somente foi influente para a madeira de *E. cloeziana*. A temperatura e o tempo diminuiram o α_R (Tabela 9).

Tabela 9 - Resumo estatístico e teste de médias para o inchamento radial (α_R , %) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretificada.

Espécie	DMS	Temperatura (°C)		
		160	190	220
<i>E. cloeziana</i>		4,61 ^{±1,12} a	3,97 ^{±0,96} b	2,42 ^{±0,48} c
	DMS	Tempo (h)		
		2	4	6
	0,43	3,92 ^{±1,49} a	3,71 ^{±1,17} ab	3,38 ^{±1,17} b
<i>E. grandis</i>	DMS	Temperatura (°C)		
		160	190	220
		0,32	4,48 ^{±0,66} a	4,02 ^{±0,66} b

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey; DMS: Diferença média significativa; Média^{±desvio padrão}.

Comparando-se a madeira termorretificada com o tratamento controle (Apêndice – 1D), verificou-se que ambas as espécies apresentaram significância para o α_R . A madeira de *E. cloeziana* apresentou significância a partir do tratamento 190°C – 6h, já para as amostras de *E. grandis* todos os tratamentos térmicos foram significativos (Figura 9). Para ambas as espécies,

a maior redução de αR foi na condição 220°C e 6 horas o que resultou no decréscimo de aproximadamente 51% e 56%, respectivamente para a madeira de *E. cloeziana* e *E. grandis*.

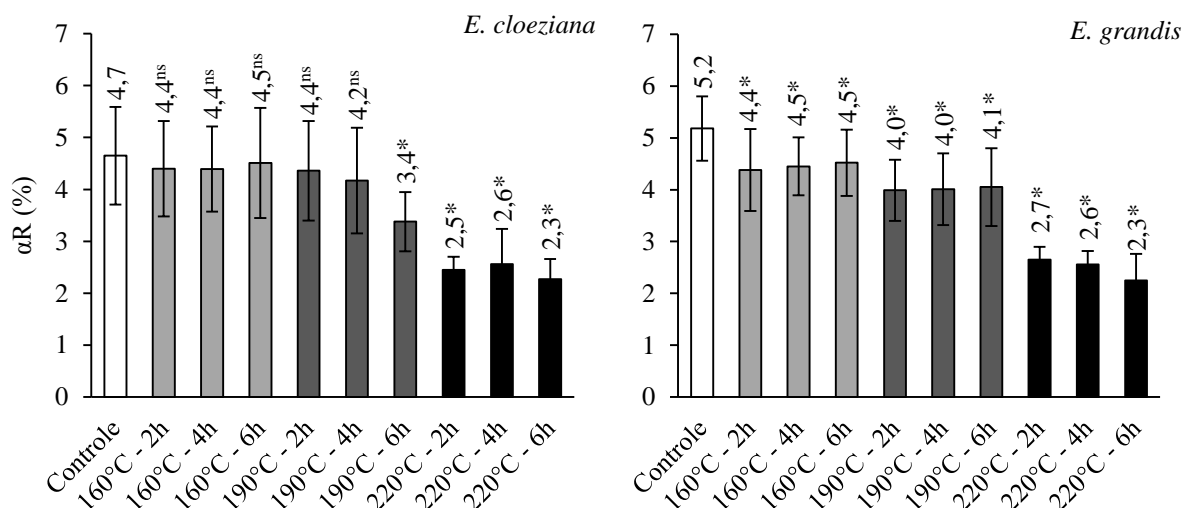


Figura 9 - Comparação de média pelo teste de Dunnett para o inchamento radial (αR) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*. A sigla dos tratamentos se refere à temperatura e ao tempo de termorretificação, respectivamente; *5% de significância; ^{ns}: Não significativo. Barra de erro referente ao desvio padrão.

No inchamento tangencial (αT), entre os tratamentos térmicos, a ANOVA fatorial evidenciou a significância de forma isolada para cada fator, bem como, a não interação entre a temperatura e o tempo para ambas as espécies analisadas (Apêndice – 1B). Tanto em *E. cloeziana* como em *E. grandis* observou-se redução do αT à medida que se aumentava a temperatura e o tempo de termorretificação (Tabela 10).

Tabela 10 - Resumo estatístico e teste de médias para o inchamento tangencial (αT , %) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretificada.

Espécie	DMS	Temperatura (°C)		
		160	190	220
<i>E. cloeziana</i>	0,45	8,67 ^{±1,18} a	7,12 ^{±0,91} b	3,92 ^{±0,62} c
	DMS	Tempo (h)		
		2	4	6
0,45	6,93 ^{±2,11} a	6,48 ^{±2,08} ab	6,30 ^{±2,13} b	
<i>E. grandis</i>	DMS	Temperatura (°C)		
		160	190	220
	0,33	7,89 ^{±0,67} a	6,67 ^{±0,64} b	3,76 ^{±0,76} c
	DMS	Tempo (h)		
		2	4	6
0,33	6,43 ^{±1,76} a	6,05 ^{±1,86} b	5,84 ^{±1,97} b	

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey; DMS: Diferença média significativa; Média^{±desvio padrão}.

Na análise comparativa entre a madeira tratada com o tratamento controle (Apêndice – 1D), ambas as espécies obtiveram significância para a ANOVA geral do inchamento tangencial (αT). A madeira de *E. cloeziana* não apresentou diferença significativa em relação ao tratamento controle para os tratamentos a 160°C nos três períodos de exposição (2, 4, 6h), já para o *E. grandis* todos os tratamentos térmicos diferenciaram do controle (Figura 10). Realizando-se a média entre os tempos na temperatura específica, percebe-se a redução de 25,7% (190°C) e 59% (220°C) para a madeira de *E. cloeziana* tratada termicamente, já para *E. grandis* a redução foi de 16% (160°C), 29% (190°C) e 60,3% (220°C).

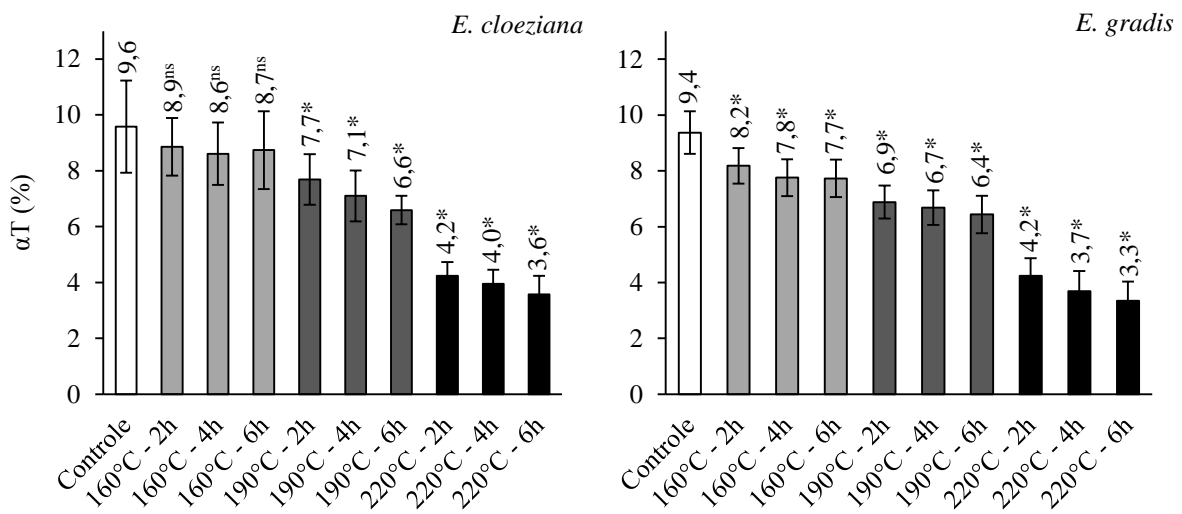


Figura 10 - Comparação de média pelo teste de Dunnett para o inchamento tangencial (αT) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*. A sigla dos tratamentos se refere à temperatura e ao tempo de termorretificação, respectivamente; *5% de significância; ^{ns}: Não significativo. Barra de erro referente ao desvio padrão.

Para a variação volumétrica (ΔV), a análise de variância fatorial (Apêndice – 1B), demonstrou a não significância da interação para a madeira de *E. cloeziana* e *E. grandis* tratadas termicamente, no entanto houve diferença para o fator temperatura em ambas as espécies, já o fator tempo somente foi influente para a madeira de *E. cloeziana*. Através da Tabela 11, pode-se verificar que para a madeira de *E. cloeziana*, conforme houve o aumento do tempo e da temperatura de termorretificação, houve o decréscimo do ΔV , sendo nesse último mais pronunciado, já para o *E. grandis* a temperatura proporcionou a maior redução de ΔV .

Tabela 11 - Resumo estatístico e teste de médias para a variação volumétrica (ΔV , %) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretificada.

Espécie	DMS	Temperatura (°C)		
		160	190	220
<i>E. cloeziana</i>	0,79	14,12 ^{±2,14} a	11,57 ^{±1,79} b	6,39 ^{±0,96} c
	DMS	Tempo (h)		
		2	4	6
0,79	11,41 ^{±3,67} a	10,69 ^{±3,53} ab	9,99 ^{±3,65} b	
<i>E. grandis</i>	DMS	Temperatura (°C)		
		160	190	220
	0,66	13,09 ^{±0,59} a	11,16 ^{±0,87} b	6,46 ^{±0,34} c

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey; DMS: Diferença média significativa; Média^{±desvio padrão}.

Na análise comparativa entre o tratamento controle e a madeira termorretificada (Apêndice – 1D), ambas as espécies apresentaram significância ($p < 0,05$) para a ANOVA geral. Para *E. grandis*, todos os tratamentos térmicos diferiram do tratamento controle, em contrapartida *E. cloeziana* diferir a partir de 190°C (Figura 11). As reduções variaram de 4,6% no tratamento mais brando a 62% no mais severo para a madeira de *E. cloeziana*, já para *E. grandis* as reduções oscilaram entre 14,2% a 62,6%.

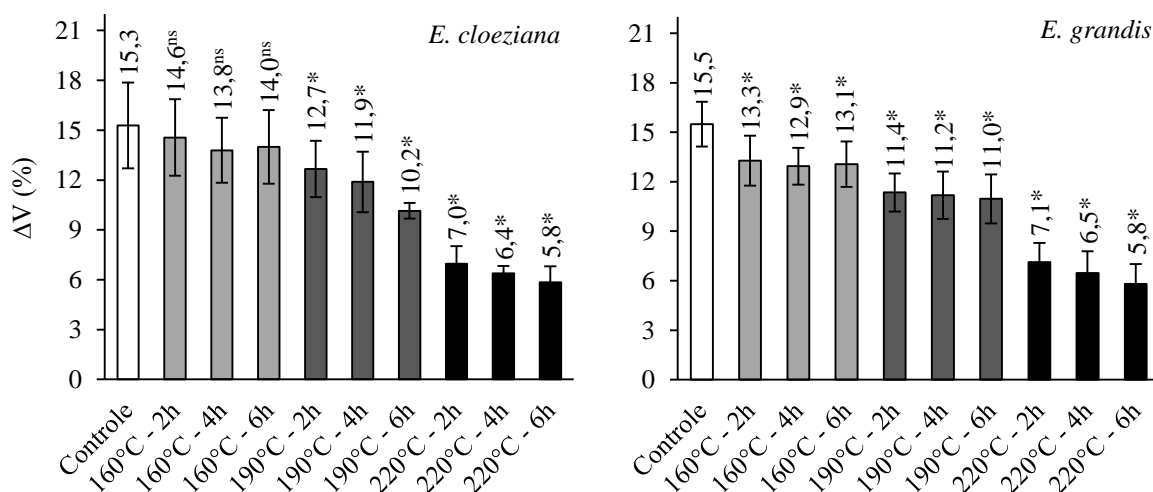


Figura 11 - Comparação de média pelo teste de Dunnett para a variação volumétrica (ΔV) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*. A sigla dos tratamentos se refere à temperatura e ao tempo de termorretificação, respectivamente; *5% de significância; ^{ns}: Não significativo. Barra de erro referente ao desvio padrão.

Diante dos resultados de inchamento longitudinal, radial, tangencial e volumétrico, percebe-se que o aumento da temperatura do processo de termorretificação ocasiona a

estabilidade da madeira. Resultados semelhantes foram evidenciados por diversas pesquisas (SRINIVAS; PANDEY, 2012; CADEMARTORI et al., 2013a; ESTEVES et al., 2014; JIANG et al., 2014; RAUTKARI et al., 2014).

Com o aumento da temperatura dos tratamentos térmicos, a madeira passa por um processo de modificação química, onde ocorre a degradação dos seus componentes por meio da desidratação, hidrólise, oxidação, descarboxilação e transglicosilação, tornando-a menos higroscópica (KOCAEFE et al., 2008). Para Hill (2006), as hemiceluloses são as principais responsáveis por tais modificações. Conforme Rowell e Banks (1985) as hemiceluloses, celulose não-cristalina (região amorfa), as superfícies de celulose cristalina e, num pequeno grau a lignina, são responsáveis pela higroscopicidade de madeira. Stamm (1956) relatou que quando a madeira é aquecida em temperaturas elevadas, a redução da higroscopicidade, bem como, do inchamento são resultantes da formação da ligação éter através da divisão de dois grupos hidroxilos adjacentes.

Devido ao óleo de soja ser uma substância insolúvel em água (hidrofóbica), há uma contribuição para a repelência da água, ou seja, aumenta a estabilidade dimensional do material tratado. No entanto, não se sabe o quanto o óleo altera a higroscopicidade da madeira, visto que a temperatura também está envolvida no processo de termorretificação e consequentemente contribui para o decréscimo da higroscopicidade. Segundo Dubey et al. (2012), em pesquisa realizada com *Pinus radiata* termorretificado em óleo de canola, as amostras tratadas a 160°C durante 3 horas obtiveram maior quantidade de óleo absorvido (12,1%) do que as tratadas a 210°C por 3 horas (3,5%), no entanto, isso não resultou na maior redução do inchamento nas amostras com maior conteúdo de óleo (160°C), mas sim na que apresentava a menor quantidade de óleo (210°C), ou seja, as alterações químicas em temperaturas mais elevadas são mais influentes para a estabilidade dimensional do que a absorção de óleo pelas amostras.

5.1.5 Absorção e taxa de absorção em água

Através da imersão dos corpos de prova em água, verificou-se que ambas as espécies resultaram na maior absorção de água (AA) em 24 horas, bem como, já se percebe a maior higroscopicidade do tratamento controle (Figura 12).

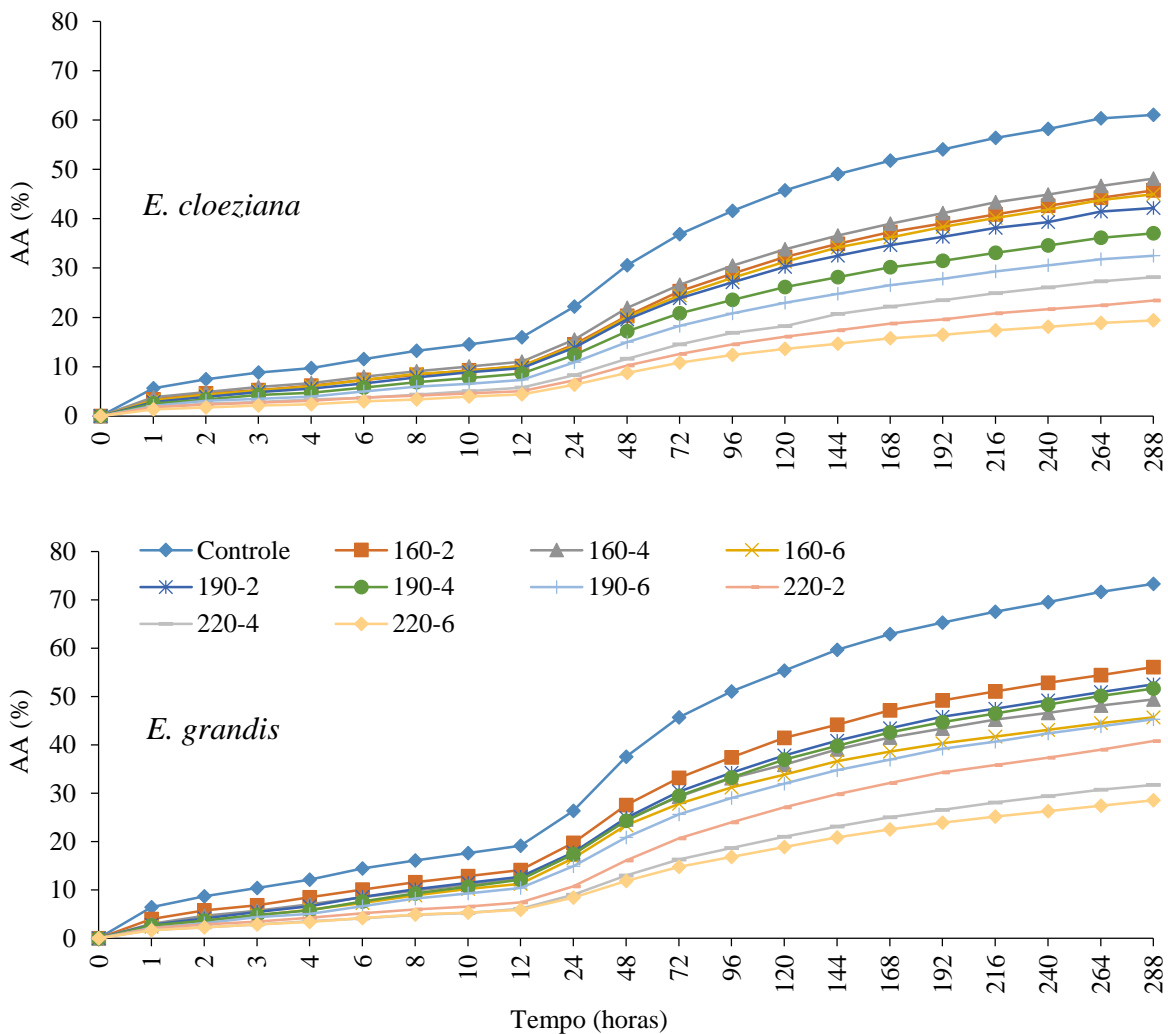


Figura 12 – Absorção de água da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretrificada em óleo de soja no período de 288 horas. AA: Absorção de água.

No geral, conforme a severidade dos tratamentos (temperatura e tempo) houve a diminuição da AA. Tal fenômeno, explica-se pela diminuição dos grupos hidroxilas (OH), principalmente das hemiceluloses (HILL, 2006), bem como, do aumento da cristalinidade da celulose conforme o aumento da temperatura e do tempo (YILDIZ et al., 2005), resultando na menor afinidade da madeira termorretrificada com a água. Corroboram Meshitsuka e Isogai (1996), afirmando que os materiais celulósicos, em parte, geralmente formam estruturas cristalinas no qual a água não penetra no interior destes cristalitos em temperatura ambiente, diminuindo a absorção de água. Outras pesquisas também evidenciaram a diminuição da absorção em água conforme o aumento da temperatura e do tempo de termorretrificação (CADEMARTORI, 2012; MISSIO, 2014).

Analisando a madeira de *E. cloeziana*, pode-se verificar que a AA do tratamento controle aos 12 dias foi de 61%, já para o tratamento mais severo (220°C – 6h) resultou em 19,4%, ou seja, uma redução de 68% na absorção em água. Nos mesmos tratamentos a madeira de *E. grandis* alcançou 73,3% e 28,5%, reduzindo 61% a absorção de água. Analisando a madeira não tratada, verifica-se que houve uma menor AA de *E. cloeziana* em relação ao *E. grandis*, fato este, explicado pela massa específica do material, ou seja, como está última apresenta maior quantidade de espaços vazios (porosidade), conseqüentemente retém maior quantidade de água.

Os resultados de AA reforçam o que foi mencionado no item 5.1.4, em que, a maior quantidade de parede celular resulta em uma maior proporção de degradação dos polímeros da madeira, resultando na maior efetividade da madeira de *E. cloeziana*.

Diante disso, mesmo com a anatomia favorável ao armazenamento de óleo na madeira de *E. grandis*, está não derivou a menor AA no tratamento mais severo, desse modo, as alterações químicas pertencentes à temperatura são mais influentes que a quantidade de óleo presente na madeira (DUBEY et al., 2012).

A taxa de absorção em água (TAA) foi superior nas primeiras horas de imersão, tanto para a madeira de *E. cloeziana* como de *E. grandis* (Figura 13). Isso ocorre, pois a absorção da água é acelerada no início do processo, explicada pela ocorrência dos fenômenos de fluxo capilar e difusão. Este primeiro ocorre através dos espaços vazios entre uma célula e outra, sob influência de um gradiente de pressão estática ou capilar acima do ponto de saturação das fibras (PSF), já a difusão, por outro lado, ocorre abaixo do PSF na migração de água entre as paredes celulares (SIAU, 1984).

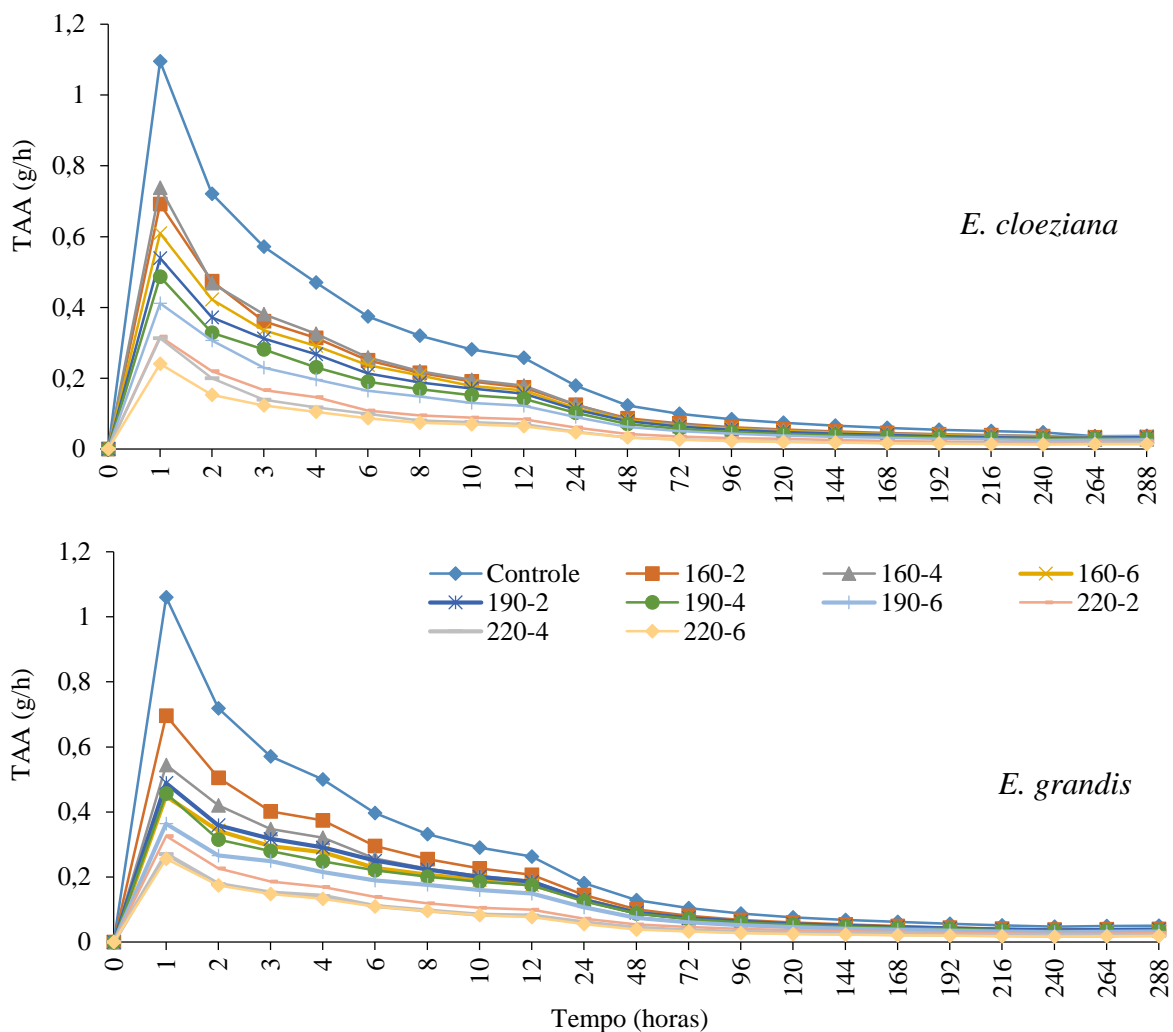


Figura 13 – Taxa de absorção em água da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretificada em óleo de soja no período de 288 horas. TAA: Taxa de absorção em água.

Para ambas as espécies estudadas, nas primeiras horas de imersão, o tratamento controle apresentou a maior TAA. A menor absorção de água ocorreu na condição mais severa (220°C-6h). Na primeira hora, a condição de 220°C e 6h de imersão em óleo de soja, resultou em 78% e 76% de redução da TAA em relação ao controle, respectivamente para a madeira de *E. cloeziana* e *E. grandis*. A medida que o tempo aumentava a TAA diminuía, sendo que a partir do oitavo dia (192 horas) de imersão em água foi verificado um acréscimo de 0,018g/h. Resultados semelhantes foram encontrados por Missio (2014), evidenciando a eficiência dos tratamentos térmicos na diminuição da TAA.

5.2 Ensaios mecânicos

5.2.1 Flexão dinâmica

Entre os tratamentos térmicos não houve interação entre os fatores (temperatura e tempo) para a resistência máxima ao impacto ($f_{\text{máx}}$), em ambas as espécies estudadas, no entanto, a temperatura foi significativa (Apêndice – 2A). Através da Tabela 12, pode-se verificar que conforme o aumento da temperatura de termorretificação, houve o decréscimo da $f_{\text{máx}}$ nas duas espécies estudadas.

Tabela 12 - Resumo estatístico e teste de médias para a resistência máxima ao impacto ($f_{\text{máx}}$) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretificada.

Espécie	DMS	Temperatura (°C)		
		160	190	220
<i>E. cloeziana</i>	2,85	24,97 ^{±6,3} a	20,13 ^{±6,1} b	18,45 ^{±6,1} b
<i>E. grandis</i>	2,61	25,21 ^{±5,7} a	21,68 ^{±5,7} b	18,21 ^{±4,2} c

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey; DMS: Diferença média significativa; Média^{±desvio padrão}.

Na análise comparativa (teste de Dunnett) entre a madeira tratada com o tratamento controle, a ANOVA geral indicou significância ($p < 0,05$) em ambas as espécies (Apêndice – 2C). Através da Figura 14 é possível verificar que os tratamentos térmicos foram agressivos na diminuição da $f_{\text{máx}}$ em relação ao tratamento controle. O decréscimo da $f_{\text{máx}}$ variou de 48,2 a 68,9% e 47,1 a 65,6% para a madeira de *E. cloeziana* e *E. grandis*, respectivamente. Conforme Rapp e Sailer (2000), a $f_{\text{máx}}$ é a propriedade mecânica mais afetada negativamente para os tratamentos térmicos.

A redução da resistência ao impacto em função da temperatura foi descrita por diversos autores, entre eles Bak e Németh (2012), no qual, utilizaram três tipos de óleos vegetais (girassol, linhaça e canola) no processo de termorretificação, encontrando reduções de 15 a 40% e 30 a 55%, respectivamente na secção radial e tangencial da madeira de *Robinia pseudoacacia*. Já para a espécie *Populus x euramericana* os decréscimos foram de 15 a 35%, independentemente da direção anatômica, sendo que a variação de redução associada às condições do processo térmico, que variou de 160°C – 2h a 200°C – 6h.

Com relação à maturidade do lenho, Bal e Bektaş (2013) encontraram diferenças significativas conforme o aumento da temperatura para a madeira de *Eucalyptus grandis*,

variando de 11 a 64% e 4 a 53,8% para o lenho juvenil e adulto, respectivamente, nas condições de 120°C – 2h e 180°C – 8h.

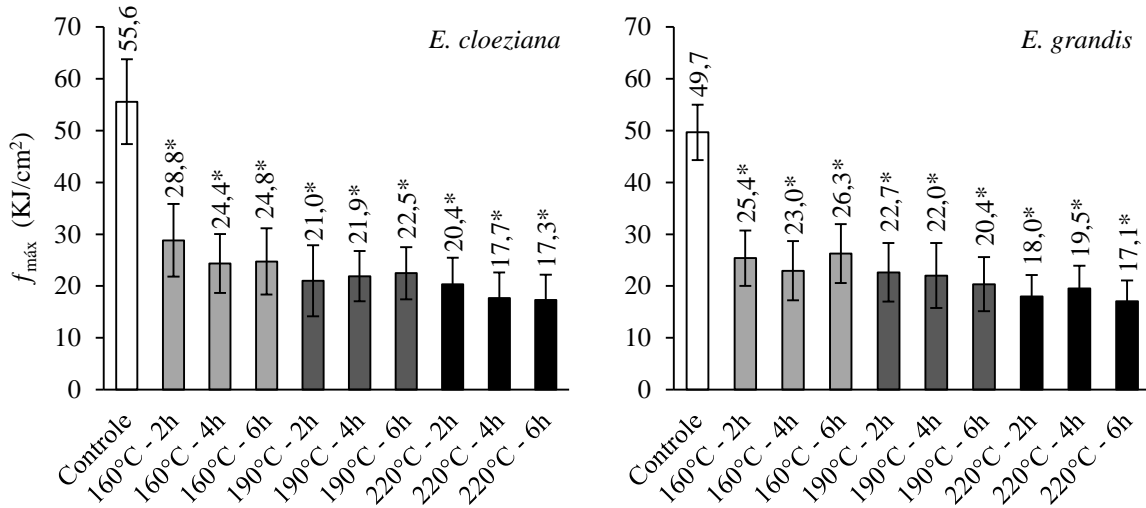


Figura 14 - Comparação de média pelo teste de Dunnett para a resistência máxima ao impacto ($f_{máx}$) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*. A sigla dos tratamentos se refere à temperatura e ao tempo de termorretificação, respectivamente; *5% de significância; ns: Não significativo. Barra de erro referente ao desvio padrão.

Conforme Hillis e Rozsa (1985), a diminuição da resistência mecânica é resultante da degradação térmica dos polímeros da parede celular da madeira, especialmente as hemiceluloses, que são sensíveis a temperaturas elevadas e podem ser quimicamente alteradas. Já para Xie et al. (2013), a redução está relacionada à rede rígida entre os polímeros da parede celular e/ou a condensação de substâncias químicas nas estruturas da madeira durante o processo de termorretificação, dessa forma, a hidrólise que ocorre na presença de catalisadores ácidos pode também reduzir a $f_{máx}$, limitando o uso em projetos estruturais.

5.2.2 Flexão estática

Através da ANOVA fatorial dos tratamentos térmicos, pode-se verificar que o módulo de ruptura (MOR) apresentou interação entre os fatores para a madeira de *E. cloeziana*, já para o *E. grandis* somente a temperatura mostrou-se significativa (Apêndice – 2A). Com relação ao módulo de elasticidade (MOE), os resultados de significância foram o inverso do MOR, ou seja, houve interação entre os fatores (temperatura x tempo) em *E. grandis* e significância do fator temperatura para *E. cloeziana* (Apêndice – 2C).

Analisando o desmembramento fatorial do MOR (Tabela 13), pode-se verificar que somente em 220°C houve influência significativa do tempo de termorretificação na resistência da madeira de *E. cloeziana*. Com relação ao efeito do fator temperatura, percebe-se que conforme seu aumento ocorre a redução do MOR em ambas as espécies. Em relação ao MOE da madeira de *E. cloeziana* a temperatura apresentou mesmo efeito no MOR, diminuindo-o. Os resultados da elasticidade da madeira de *E. grandis* manteve-se em equilíbrio conforme a temperatura e o tempo de termorretificação.

Tabela 13 - Resumo estatístico e teste de médias para o módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretificada.

Espécie	Prop	Tempo (h)	Temperatura (°C)		
			160	190	220
<i>E. cloeziana</i>	MOR (MPa)	2	109,79 ^{±19,9} aA	104,01 ^{±30,9} aA	95,39 ^{±24,15} aA
		4	120,35 ^{±27,4} aA	86,41 ^{±28,1} bA	81,39 ^{±16,1} bAB
		6	117,21 ^{±23,9} aA	86,39 ^{±22,4} bA	62,71 ^{±24,5} cB
<i>E. grandis</i>	MOR (MPa)	DMS	Temperatura (°C)		
		7,55	160	190	220
<i>E. cloeziana</i>	MOE (GPa)	DMS	Temperatura °C		
		1,34	160	190	220
			14,23 ^{±2,48} a	13,08 ^{±2,82} ab	12,80 ^{±2,69} b
<i>E. grandis</i>	MOE (GPa)	Tempo (h)	Temperatura (°C)		
			160	190	220
		2	10,43 ^{±0,96} bAB	10,10 ^{±1,49} bB	11,77 ^{±2,18} aA
	4	9,55 ^{±0,97} bB	11,61 ^{±2,04} aA	10,76 ^{±1,18} bAB	
	6	11,15 ^{±1,59} aA	10,37 ^{±1,4} aAB	10,17 ^{±1,29} aB	

Prop: Propriedade; Letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey; DMS: Diferença média significativa; Média^{±desvio padrão}. A DMS para *E. cloeziana* (MOR) e *E. grandis* (MOE) foi de 21,4 e 1,3, respectivamente.

Na análise comparativa entre a madeira tratada e o tratamento controle (Apêndice – 2C), a ANOVA geral indicou a significância para o MOR em ambas as espécies estudadas, já o MOE não apresentou significância para a madeira de *E. cloeziana*. Analisando as curvas de carga-deflexão do ensaio de flexão estática, o tratamento controle exibiu uma deformação plástica na sequência da região elástica linear da curva, já a madeira tratada termicamente mostrou-se com menos deflexão e uma força de fratura inferior, com isso, pode-se afirmar que após a termorretificação tanto a madeira de *E. cloeziana* quanto a de *E. grandis* tornaram-se quebradiça. Fato este que foi evidenciado por outras pesquisas (TAJVIDI; TAKEMURA, 2009; PFRIEM et al., 2010; XIE et al., 2013; MISSIO, 2014).

O MOR teve acréscimo de 1,6% (160°C – 4h) e redução de 47% (220°C – 6h) para a madeira de *E. cloeziana* em relação ao tratamento controle. Já para a madeira de *E. grandis* o MOR resultou na redução de 9% em 160°C – 2h até 54% na condição 220°C - 4h (Figura 15). Para Srinivas e Pandey (2012), a alta temperatura (225°C) e o maior tempo de termorretificação proporcionaram as maiores reduções do MOR, de 39 e 58% para a madeira de *Hevea brasiliensis* e 40,2 e 60% para *Grevillea robusta* em relação ao tratamento controle, respectivamente para 2 e 8 horas. Cademartori et al. (2012) também constataram a diminuição do MOR para a madeira de *Eucalyptus grandis*, de 22% (180°C – 4h) e 49% (240h – 8h) inferior ao tratamento controle. Já para Calonego et al. (2012), as reduções oscilaram de 5% (140°C – 2,5h) a 52% (220°C – 2,5h), sendo a partir de 180°C a redução mais pronunciada.

O MOE apresentou acréscimo em todos os tratamentos térmicos, variando de 6% (220°C – 6h) a 22,2% (190°C – 2h) para a madeira de *E. cloeziana*. Na madeira tratada de *E. grandis* houve diminuição do MOE em 4% (160°C – 4h) e acréscimo de 18% na condição de 220°C – 2h. Kocafe et al. (2008) também verificaram que para a madeira de *Populus tremuloides* o MOE foi menos afetado pelos tratamentos térmicos em comparação com MOR.

Corroboram Calonego et al. (2012), no qual evidenciaram o acréscimo do MOE entre as temperaturas de 140 a 200°C – 2,5 horas, já na condição de 220°C – 2,5 horas houve decréscimo de 8,4% em relação a madeira não tratada de *Eucalyptus grandis*. Na condição de vapor saturado durante 3 horas em um reator de alta pressão, a madeira de *Pinus sylvestris* aumentou aproximadamente 14% o MOE na temperatura de 150°C e diminuiu cerca de 1%, quando submetido a 180°C (RAUTKARI et al., 2014). Para Ates et al. (2009) os tratamentos térmicos resultaram na diminuição do MOE em todas as condições do processo, variando de 10 a 30%, 180°C - 2h e 230°C - 8h, respectivamente.

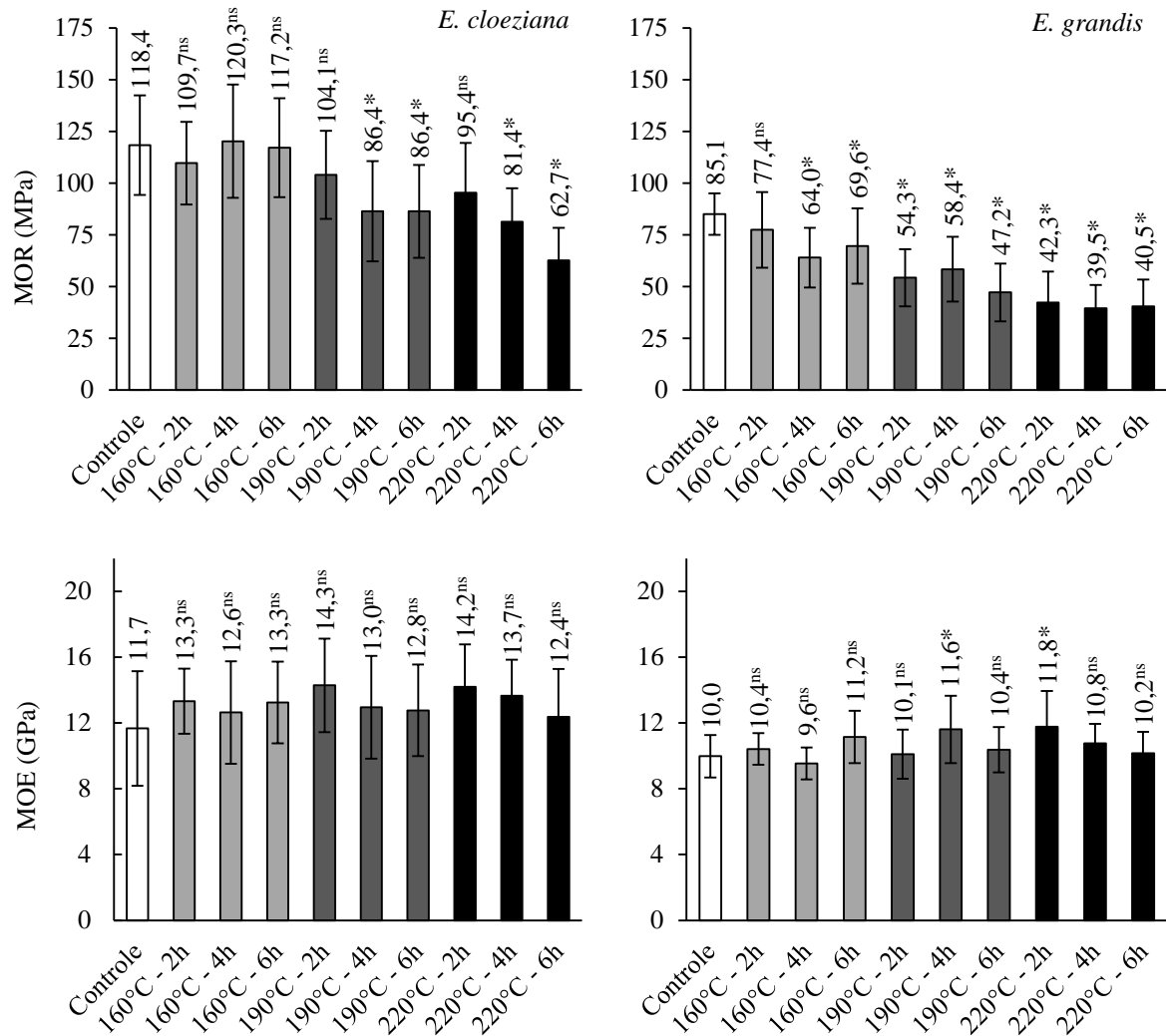


Figura 15 - Comparação de média pelo teste de Dunnett para o módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*. A sigla dos tratamentos se refere à temperatura e ao tempo de termorretificação, respectivamente; *5% de significância; ^{ns}: Não significativo. Barra de erro referente ao desvio padrão.

A diminuição do MOR em função do aumento da temperatura dos tratamentos térmicos foi observada em outras pesquisas (MILITZ, 2002; MBURU et al., 2008; GÜNDOZ; AYDEMİR, 2009; BAL; BEKTAŞ, 2013; MISSIO, 2014). Esteves e Pereira (2009) afirmaram que as propriedades mecânicas mais afetadas com os tratamentos térmicos são flexão estática (MOR) e flexão dinâmica (resistência ao impacto), no entanto, a redução depende da espécie e das condições do processo. Conforme Yao e Taylor (1979), à medida que o tempo de tratamento aumenta os compostos da parede celular tendem a se fragilizar, diminuindo a resistência de madeira. Theander e Nelson (1988) afirmaram que a diminuição da resistência a flexão está relacionada a formação de ácidos carbônicos que promovem a hidrólise dos polímeros de hidrato de carbono.

Para Boonstra et al. (2007) o MOR tem relação com a integração dos polímeros da parede celular (celulose, hemicelulose e lignina) e, desse modo, a redução da resistência deve-se principalmente às reações de despolimerização e mudanças da quantidade de hemiceluloses ocasionadas pelos tratamentos térmicos (HILL, 2006; YILDIZ et al., 2006). Kačíková et al. (2013) corrobora com a afirmativa dos autores supracitados, no qual, relataram a diminuição das hemiceluloses conforme o aumento da temperatura dos tratamentos térmicos, estando este diretamente relacionado à diminuição do MOR.

Com relação ao MOE e de forma geral ao seu acréscimo diante da aplicação dos tratamentos térmicos, Yildiz e Gümüşkaya (2007) afirmaram que quando ocorre o aquecimento da madeira, até certo ponto, há o aumento proporcional da celulose cristalina, que por sua vez confere maior rigidez a madeira. Para Pandey (1999), a celulose é o principal polímero responsável pela resistência da madeira, devido ao seu elevado grau de polimerização e cristalinidade. Conforme Calonego et al. (2012), o aumento do grau de cristalinidade da celulose e da largura dos cristais de celulose crescem a elasticidade da madeira.

Para Kocafe et al. (2008) ramificações por parte da lignina também apresentaram algum efeito sobre as propriedades mecânicas. Kačíková et al. (2013) relataram que os valores de MOE declinaram rapidamente acima de 220°C devido a degradação térmica da porção sacarídica, bem como, mudanças na macromolécula de lignina.

5.2.3 Dureza Janka

Com base na ANOVA fatorial entre os tratamentos térmicos, a dureza tangencial (H_{tang}) não apresentou interação entre os fatores (temperatura e tempo), no entanto, quando analisados individualmente ambos foram significativos para as duas espécies em estudo (Apêndice – 2B). Para a dureza radial (H_{rad}) somente o fator temperatura foi significativo, em ambas as espécies (Apêndice – 2B). Com relação a dureza longitudinal (H_{long}), houve interação entre os fatores, havendo dependência entre eles, tanto para a madeira de *E. cloeziana* quanto a de *E. grandis* (Apêndice – 2B). Mesmo com o tempo sendo um fator influente no comportamento da dureza, pode-se observar que este não teve uma contribuição relevante quando comparado com a temperatura (Tabela 14).

De modo geral, a dureza Janka diminuiu conforme o aumento da temperatura dos tratamentos, nas três seções anatômicas avaliadas. Com relação ao tempo de termorretificação, a H_{tang} diminuiu conforme o aumento do tempo para a madeira de *E. cloeziana* e, para *E. grandis*, houve uma pequena oscilação, com diminuição de 6,3% de 2h para 4h, e aumento de 2,6% de

4h para 6h. Na interação dos fatores da H_{long} , pode-se observar que nas temperaturas de 160 e 190°C o tempo foi influente na diminuição da dureza para a madeira de *E. cloeziana*. Na condição de 220°C houve oscilação dos resultados, diminuindo 14,2% de 2h para 4h e aumento 7,2% de 4h para 6h. Para o *E. grandis* nas três temperaturas do processo térmico, a H_{long} oscilou conforme o tempo de exposição ao processo de termorretificação, no entanto, não houve mudança na significância dos resultados por tal variação (Tabela 14).

Tabela 14 - Resumo estatístico e teste de médias para a dureza Janka tangencial (H_{tang}), radial (H_{rad}) e longitudinal (H_{long}) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretificada.

		Face tangencial			
Espécie	Prop	DMS	Temperatura (°C)		
			160	190	220
<i>E. cloeziana</i>	H_{tang} (MPa)	4,25	61,76 ^{±10,44} a	57,29 ^{±9,11} b	43,44 ^{±5,55} c
		DMS	Tempo (h)		
		4,25	2	4	6
<i>E. grandis</i>	H_{tang} (MPa)	4,25	56,82 ^{±13,39} a	53,24 ^{±10,26} ab	52,43 ^{±10,67} b
		DMS	Temperatura (°C)		
		2,39	160	190	220
<i>E. grandis</i>	H_{tang} (MPa)	2,39	31,62 a	28,13 b	25,19 c
		DMS	Tempo (h)		
		2,39	2	4	6
<i>E. grandis</i>	H_{tang} (MPa)	2,39	31,17 a	26,53 b	27,24 b
		DMS	Temperatura (°C)		
		2,39	160	190	220
<i>E. cloeziana</i>	H_{rad} (MPa)	5,25	57,16 ^{±12,87} a	50,47 ^{±10,34} b	38,98 ^{±7,62} c
		DMS	Temperatura (°C)		
		2,73	160	190	220
<i>E. grandis</i>	H_{rad} (MPa)	2,73	29,81 ^{±7,16} a	27,83 ^{±5,09} a	23,26 ^{±4,28} b
		DMS	Temperatura (°C)		
		2,73	160	190	220
<i>E. cloeziana</i>	H_{long} (MPa)	2	75,67 ^{±6,69} aA	56,86 ^{±9,1} bA	44,61 ^{±11,2} cA
		4	58,97 ^{±8,24} aB	53,94 ^{±12,4} aA	38,26 ^{±11,6} bA
		6	50,39 ^{±11,0} aC	43,58 ^{±7,8} abB	41,03 ^{±3,6} bA
<i>E. grandis</i>	H_{long} (MPa)	2	44,02 ^{±6,33} aA	39,36 ^{±7,7} aA	27,79 ^{±8,6} bA
		4	31,06 ^{±5,5} aB	26,49 ^{±7,6} abB	24,88 ^{±4,1} bA
		6	31,92 ^{±6,21} aB	28,04 ^{±7,8} abB	25,31 ^{±3,8} bA

Prop: Propriedade; Letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey; Média^{±desvio padrão}; Diferença média significativa (DMS) para *E. cloeziana* na linha e na coluna = 8,21 (H_{long}); DMS para *E. grandis* na linha e na coluna = 5,73 (H_{long}).

Na análise comparativa entre a madeira tratada e o tratamento controle, a ANOVA geral indicou significância ($p < 0,05$) nas três faces anatômicas em ambas as espécies (Apêndice –

2D). Na H_{tang} da madeira de *E. cloeziana*, houve diminuição de 11% (160°C – 2h) a 43,4% (220°C – 6h). Para o *E. grandis*, as condições 160°C – 2h e 6h e 190°C – 2h não influenciaram na H_{tang} , sendo que na primeira condição houve um acréscimo de 2,9% e na segunda um decréscimo de 30,4% na propriedade (Figura 16).

Resultados similares foram relatados na termorretificação da espécie *Pinus sylvestris* (KORKUT; BUDAKÇI, 2009), com redução de 4% (120°C – 2h) a 39% (180°C – 10h), já para a madeira de *Eucalyptus grandis* Calonego et al. (2012) relatou decréscimo de 3,5% (140°C – 2,5h) a 20,7% (220°C – 2,5h). Na aplicação de tratamentos térmicos em *Robinia pseudoacacia* e *Juniperus oxycedrus*, Kesik et al. (2014) encontraram reduções de 16 e 1,4% (130°C – 3h) na condição branda e 31 e 26% (160°C – 7h) na condição mais severa, respectivamente. No estudo com *Hevea brasiliensis*, Bakar et al. (2013) também verificaram a maior redução (33%) da H_{tang} em 190°C - 8h.

Na H_{rad} da madeira de *E. cloeziana*, foi constatado a diminuição em todos os tratamentos térmicos (6% - 160°C - 2h a 42% - 220°C – 6h), no entanto, na temperatura de 160°C indiferente do tempo, não houve significância. A H_{rad} de *E. grandis* apresentou aumento na condição mais branda (4,1%) e maior redução (28,3%) na condição de 220°C – 4h de termorretificação (Figura 16).

Na termorretificação de *Pinus brutia* houve acréscimo da H_{rad} entre as temperaturas de 130°C – 2h (9%) e 180°C – 2 (8%) sendo que, no tratamento mais severo (220°C – 2h), houve redução de 21% em relação ao controle (ATES et al., 2009). Da mesma forma, Missio (2014) encontrou redução de 13,5% (180°C – 3,5h) e 16% (200°C – 3,5h) para a madeira de *Eucalyptus cloeziana*; acréscimo de 3,7% (180°C) e decréscimo de 11% (200°C) durante 3,5 horas de termorretificação para *Eucalyptus grandis* para a dureza radial. Corroboram com os resultados Korkut e Budakçi (2009), no qual relatam redução de aproximadamente 27,4% para a H_{rad} da madeira de *Pinus sylvestris* na condição 180°C - 10h.

A H_{long} foi a que apresentou maior resistência em relação a H_{tang} e H_{rad} quando feita a comparação ente as madeiras não tratadas, em ambas as espécies. Isso ocorre pois a resistência da madeira no sentido das fibras é maior, em relação a resistência perpendicular (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010). Na comparação entre a madeira termorretificada e o tratamento controle, nota-se a diminuição da H_{long} para a madeira de *E. cloeziana*, variando de 2% no tratamento mais brando a 50,4% na condição de 220°C – 4h. Já para a espécie *E. grandis* houve acréscimo de 1,6% (160°C – 2h) e decréscimo máximo de 42,5% (220°C – 4h) (Figura 16).

Resultados similares foram expostos por Missio (2014) para a madeira de *Eucalyptus cloeziana*, relatando o decréscimo de 5,2 e 18,8% nas temperaturas de 180 e 200°C, respectivamente. Já para a madeira de *Eucalyptus grandis* houve acréscimo de 18 e 7% na condição de 180°C – 3,5h e 200°C – 3,5h, respectivamente. Para Korkut e Budakçi (2009), no tratamento térmico de *Pinus sylvestris* houve decréscimo em todas as temperaturas e tempos avaliados, variando de 16% (120°C – 2h) a 41% no tratamento mais severo (180°C – 10h). Na termorretificação de *Pinus brutia* houve acréscimo entre as condições de 130°C – 2h (25%) e 180°C – 8h (8%), no entanto, em temperaturas mais severas (230°C) a H_{long} foi reduzida em 18%.

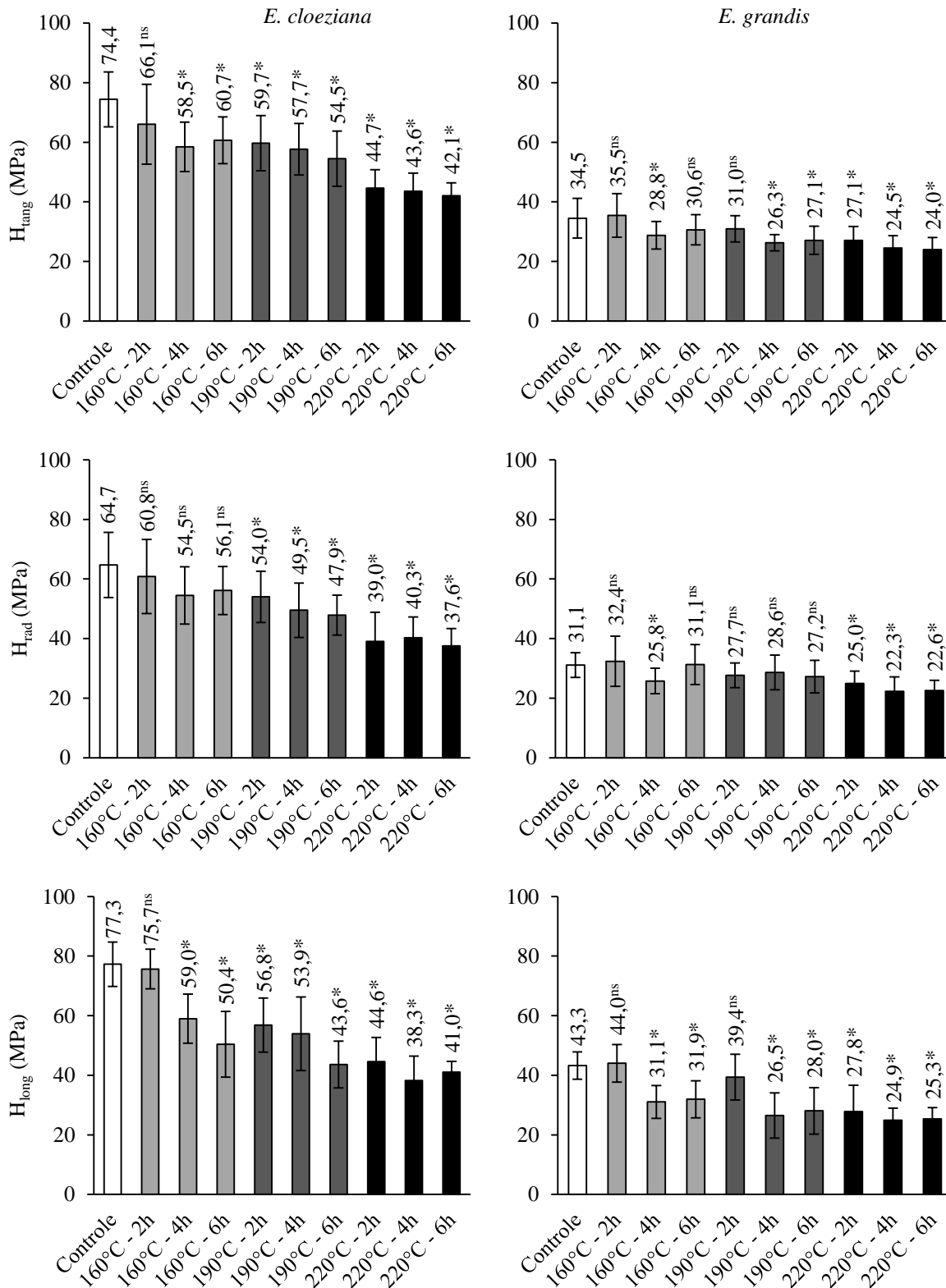


Figura 16 - Comparação de média pelo teste de Dunnett para a dureza Janka tangencial (H_{tang}), radial (H_{rad}) e longitudinal (H_{long}) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*. A sigla dos tratamentos se refere à temperatura e ao tempo de termoretificação, respectivamente; *5% de significância; ^{ns}: Não significativo. Barra de erro referente ao desvio padrão.

Analisando a madeira não tratada de ambas as espécies, pode-se perceber que a dureza Janka é maior na espécie *E. cloeziana* (0,64 g/cm³) em relação ao *E. grandis* (0,56 g/cm³) Isso já era esperado, devido esta propriedade estar diretamente correlacionada com a densidade da madeira e conseqüentemente com sua porosidade (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010). Em relação a diminuição da dureza em função da temperatura, Priadi e Hiziroglu (2013) e Bakar et al. (2013) afirmam que tal redução está associada à modificação química e por conseguinte deterioração da parede celular causada pelo tratamento térmico. Já em relação ao breve aumento da dureza, Sivonen et al. (2002) relatam que tal comportamento está relacionado há processos de condensação da lignina e hemiceluloses, que podem se degradar e formar novas ligações químicas.

5.3 Colorimetria

Através da análise superficial da madeira do gênero *Eucalyptus*, foi possível designar uma escala colorimétrica em função da temperatura e do tempo de exposição, tanto da superfície quanto do centro das peças termorretificadas (Figura 17). O conjunto de alterações da cor da madeira é resultado de uma combinação de fatores, entre eles a degradação dos componentes químicos da madeira, remoção e/ou migração de extrativos, formação de outros compostos e absorção de óleo.

Diante da ANOVA fatorial entre os tratamentos térmicos, o parâmetro claridade (L*) da superfície da madeira de *E. cloeziana* não apresentou interação dos fatores tempo e temperatura, no entanto, quando analisados individualmente apresentaram significância (Apêndice – 3A) por outro lado o *E. grandis* resultou na interação entre os fatores. Na análise do centro das peças, foi verificado interação entre os fatores para *E. cloeziana*, já em *E. grandis* somente houve significância para a temperatura (Apêndice - 3B).

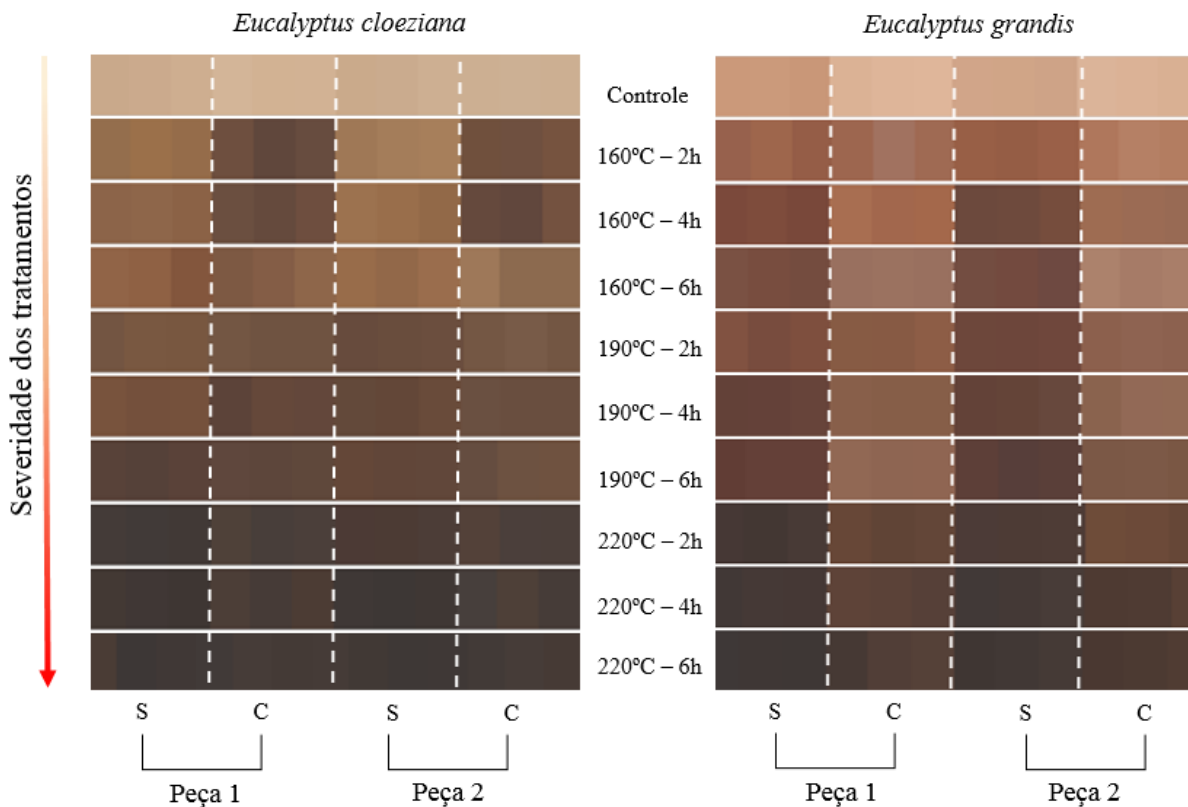


Figura 17 – Aspectos colorimétricos da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* após o processo de termorreificação em óleo de soja. S: Superfície da peça; C: Centro da peça. Cores extraídas do espaço CIE-L*a*b* através do colorímetro CR-400.

Através da Tabela 15, verifica-se que o fator temperatura foi preponderante para a diminuição do parâmetro L^* , quando comparado ao tempo, em ambas as regiões da peça. Com relação à superfície, a temperatura diferiu nas três condições e o tempo somente foi influente em 6 horas para a madeira de *E. cloeziana*. Na análise da interação da termorreificação de *E. grandis*, exceto na condição de 160°C, nota-se a diminuição da L^* conforme o aumento da temperatura e do tempo. Na análise da interação do centro da peça para a madeira de *E. cloeziana*, a condição de 160°C resultou em um aumento da L^* conforme o acréscimo do tempo, já nas demais condições houve a diminuição da L^* . Na condição de 2 horas houve aumento da L^* entre 160°C para 190°C (9,7%), diminuindo em 220°C (26%), nas outras condições a L^* reduziu conforme o aumento da temperatura e do tempo. Para a madeira de *E. grandis* as três condições de temperatura diferiram, reduzindo a L^* conforme o aumento da temperatura.

Tabela 15 - Resumo estatístico e teste de médias para a claridade (L^*) da superfície e centro das peças de madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretificada.

Superfície				
Espécie	DMS	Temperatura (°C)		
		160	190	220
<i>E. cloeziana</i>	2,51	49,58 ^{±5,04} a	36,35 ^{±3,99} b	25,20 ^{±1,23} c
	DMS	Tempo (h)		
		2	4	6
	2,51	39,55 ^{±11,19} a	37,19 ^{±11,25} a	34,39 ^{±9,62} b
<i>E. grandis</i>	Tempo (h)	Temperatura (°C)		
		160	190	220
	2	46,47 ^{±0,89} aA	36,04 ^{±2,98} bA	25,89 ^{±1,25} cA
	4	39,67 ^{±4,42} aB	32,58 ^{±1,01} bAB	25,31 ^{±0,59} cA
	6	45,96 ^{±5,37} aA	32,01 ^{±2,80} bB	24,51 ^{±0,29} cA
Centro				
<i>E. cloeziana</i>	Tempo (h)	Temperatura (°C)		
		160	190	220
	2	38,92 ^{±2,68} aB	42,72 ^{±4,56} aA	28,81 ^{±0,87} bA
	4	40,05 ^{±7,20} aB	35,38 ^{±3,23} aB	27,20 ^{±0,90} bA
	6	49,97 ^{±4,43} aA	37,04 ^{±2,46} bB	27,15 ^{±0,96} cA
<i>E. grandis</i>	DMS	Temperatura (°C)		
		160	190	220
	3,79	52,11 ^{±5,46} a	41,97 ^{±5,71} b	29,34 ^{±2,51} c

Letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey; Prop: Propriedade; DMS: Diferença média significativa; Média^{±desvio padrão}. A DMS para *E. grandis* e *E. cloeziana* na linha e coluna foi de 3,87 (superfície) e 5,08 (centro), respectivamente.

Na análise comparativa (teste de Dunnett) entre a madeira tratada e o tratamento controle, tanto na superfície (Apêndice - 3C) quanto no centro das peças (Apêndice - 3D) a anova geral indicou significância para ambas as espécies avaliadas. De modo geral, para a superfície da madeira de ambas as espécies, verificou-se que o aumento da temperatura proporcionou a redução da L^* , ou seja, houve o escurecimento da madeira (Figura 18). Resultados semelhantes foram encontrados em diversas pesquisas, no qual o escurecimento depende da espécie e das condições do processo térmico (JOHANSSON; MORÉN, 2006; DAGBRO et al., 2010; CHEN et al., 2012; DUBEY et al., 2012; TODOROVIC et al., 2012; BAYSAL et al., 2014; CONTE et al., 2014; OLARESCU et al., 2014).

Para a madeira de *E. cloeziana* as reduções da L^* em relação ao tratamento controle foram de 26,7 a 65,5% para a superfície, respectivamente para o tratamento mais brando (160° - 2h) e severo (220°C - 6h). Para o centro da mesma espécie houve redução de 46,6 a 62,7% nas mesmas condições. Na madeira de *E. grandis* houve reduções de 34,4% (160°C - 2h) a

65,4% (220°C – 6h) para a superfície, no centro das peças a L* diminuiu 31,4 e 62,4% nas mesmas condições de termorretificação (Figura 18).

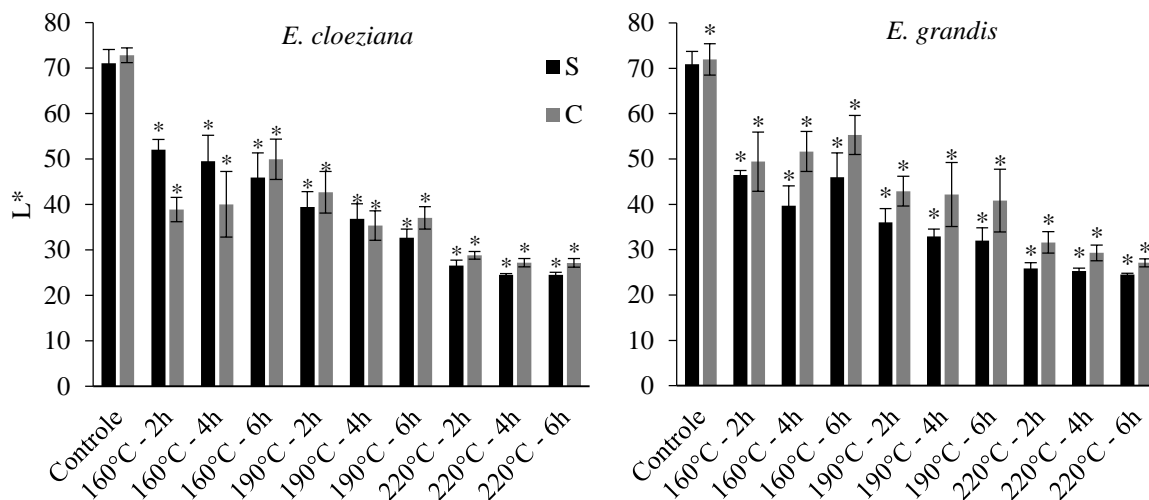


Figura 18 - Comparação de média pelo teste de Dunnett para a claridade (L*) da superfície (S) e do centro (C) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*. A sigla dos tratamentos se refere à temperatura e ao tempo de termorretificação, respectivamente; *5% de significância; ns: Não significativo. Barra de erro referente ao desvio padrão.

Analisando a diferença de cor entre a superfície e o centro da peça, nota-se que nas condições de termorretificação mais brandas (160°C – 2h e 160°C - 4h) a madeira de *E. cloeziana* apresentou o centro mais escuro do que a superfície com redução de 25,3 e 19% da L*, respectivamente, fato este que provavelmente esteja relacionado a espécie (densidade), bem como na formação e/ou degradação de compostos químicos, entre eles os extrativos. Provavelmente a temperatura e o tempo de exposição dos corpos de prova não foram suficientemente agressivos para haver a migração dos extrativos para a superfície, dos quais ficaram concentrados no interior, promovendo a baixa L*. No entanto, à medida que se aumentava o tempo e a temperatura do processo térmico a superfície passou a apresentar L* menor, além da temperatura de 220°C proporcionar um maior equilíbrio entre a superfície e o centro da peça (Figura 18). Para Pincelli et al. (2012) a diminuição da L* está associado a degradação das hemiceluloses, bem como na alteração dos extrativos após o processo térmico.

Para a madeira de *E. grandis* a L* da superfície foi menor em todos os tratamentos térmicos, quando comparado com o centro das peças. Para Sundqvist (2002), a degradação dos extrativos juntamente com a formação de novos compostos, tais como açúcares e aminoácidos de baixo peso molecular, tendem a migrar para a superfície da peça durante o processo térmico, conferindo a mudança de cor na madeira. Já Johansson e Morén (2006) afirmam que a mudança

de cor da superfície é devido ao calor gerado a partir da reação exotérmica. Dubey et al. (2012) encontraram resultados semelhantes para a madeira de *Pinus radiata* termorretificada em óleo de linhaça, no qual a superfície apresentou menor L^* em comparação com o centro da peça, bem como, a diferença entre as regiões da peça diminuiu conforme o aumento da temperatura dos tratamentos. De um modo geral, a variação da claridade (ΔL^*) é visível pelos olhos humanos acima de 3 unidades (PHELPS et al., 1994).

Diante da coordenada cromática vermelho - verde (a^*), entre os tratamentos térmicos, verificou-se pela ANOVA fatorial que a superfície de ambas as espécies apresentou interação entre os fatores (temperatura x tempo), ou seja, agem dependentes entre si (Apêndice – 3A). No centro das peças não houve interação, no entanto, quando os fatores foram avaliados individualmente ambos foram significativos tanto para *E. cloeziana* quanto ao *E. grandis* (Apêndice – 3B). A superfície da madeira de *E. cloeziana* na condição de 160°C apresentou gradativamente um aumento conforme o acréscimo do tempo de termorretificação, ou seja, houve o predomínio de tons de vermelho, já em 190°C e 220°C ocorreu a diminuição da cromática a^* (Tabela 16).

Em relação ao efeito da temperatura, nota-se que conforme a severidade dos tratamentos, menor foi a cromática a^* . Para a madeira de *E. grandis* houve comportamento único, ou seja, conforme o aumento do tempo e da temperatura a cromática a^* diminuiu. Na análise do centro das peças, percebe-se que em ambas as espécies houve a redução da cromática a^* conforme o acréscimo do tempo e da temperatura, no entanto, está última apresentou maior representatividade no resultado.

Tabela 16 - Resumo estatístico e teste de médias para a coordenada cromática verde - vermelho (a*) da superfície e do centro das peças de madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretificada.

Superfície				
Espécie	Tempo (h)	Temperatura (°C)		
		160	190	220
<i>E. cloeziana</i>	2	11,09 ^{±0,68} aB	10,19 ^{±1,31} aAB	4,53 ^{±1,20} bA
	4	12,05 ^{±0,43} aAB	10,72 ^{±1,91} aA	3,07 ^{±0,94} bAB
	6	13,08 ^{±0,90} aA	8,61 ^{±2,22} bB	2,48 ^{±0,52} cB
<i>E. grandis</i>	2	19,99 ^{±0,78} aA	15,27 ^{±2,03} bA	6,72 ^{±1,68} cA
	4	17,15 ^{±2,61} aB	13,84 ^{±2,17} bAB	4,08 ^{±0,34} cB
	6	13,25 ^{±0,67} aC	12,23 ^{±2,37} aB	3,92 ^{±1,06} bB
Centro				
<i>E. cloeziana</i>	DMS	Temperatura (°C)		
		160	190	220
	0,93	10,25 ^{±1,35} a	8,99 ^{±1,3} b	4,25 ^{±0,84} c
	DMS	Tempo (h)		
		2	4	6
	0,93	8,28 ^{±2,70} a	7,94 ^{±3,17} ab	7,25 ^{±2,84} b
<i>E. grandis</i>	DMS	Temperatura (°C)		
		160	190	220
	1,1	15,96 ^{±2,32} a	13,36 ^{±1,74} b	8,37 ^{±1,61} c
	DMS	Tempo (h)		
		2	4	6
	1,1	13,97 ^{±3,27} a	12,87 ^{±3,99} b	10,85 ^{±3,26} c

Letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey; Média^{±desvio padrão}; Diferença média significativa (DMS) pra *E. cloeziana* na linha e coluna = 1,76 (superfície); DMS para *E. grandis* na linha e na coluna = 2,39 (superfície).

Na análise comparativa entre a madeira tratada e o tratamento controle, a anova geral resultou na significância em ambas as espécies, bem como para a superfície (Apêndice – 3C) e centro (Apêndice – 3D) das peças. Para a madeira de *E. cloeziana* não houve significância para os tratamentos a 190°C – 6h, em ambas regiões de análise, já em *E. grandis* ocorreu nas condições de 160°C - 6h, 190°C – 4h e 190°C – 6h (Figura 19). Analisando a espécie, percebe-se que o tratamento controle a cromática a* foi maior para *E. grandis*, ou seja, naturalmente está apresenta maior quantidade de extrativos que originam tons de vermelho na madeira, quando comparado ao *E. cloeziana*.

Pode-se observar que ambas as espécies apresentaram comportamento similar, aumentando a cromática a* nas temperaturas mais brandas e diminuindo conforme a severidade dos tratamentos, resultados estes semelhantes ao encontrado por outras pesquisas para as mesmas espécies (CADEMARTORI et al., 2013a; CADEMARTORI et al., 2014a; MISSIO, 2014). Já para Conte et al. (2014), a madeira de *Pinus elliottii* termorretificada em estufa resultou no

aumento da cromática a^* conforme o acréscimo da temperatura, resultado este semelhante ao encontrado por Pincelli et al. (2012) para a espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, desse modo, pode-se dizer que o acréscimo da cromática a^* está relacionado com a espécie (propriedades intrínsecas), temperatura, tempo e ambiente de transferência de calor.

O aumento da cromática a^* se deve a modificação química dos extrativos (oxidação e decomposição) durante os tratamentos térmicos (GIERLINGER et al., 2004; VARGA; VAN DER ZEE, 2008; CHEN et al., 2012). Para Gierlinger et al. (2004), o acréscimo da cromática a^* apresenta correlação positiva com o conteúdo de fenóis na madeira. Com isso, pode-se supor que até certo ponto, a cromática a^* vem a somar como um indicador de aumento de resistência da madeira a deterioração (CONTE et al., 2014).

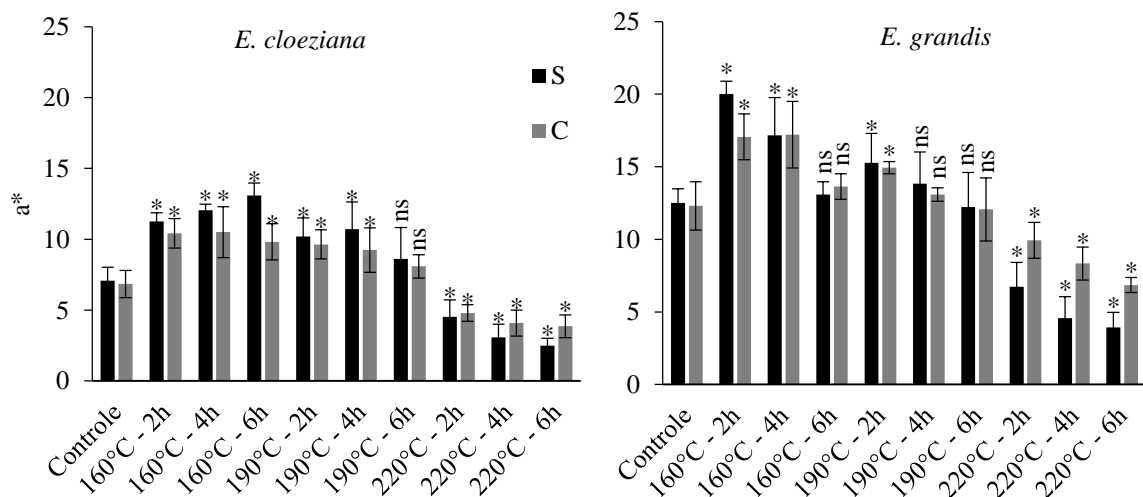


Figura 19 - Comparação de média pelo teste de Dunnett para a coordenada cromática verde - vermelho (a^*) da superfície (S) e do centro (C) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*. A sigla dos tratamentos se refere à temperatura e ao tempo de termorreificação, respectivamente; *5% de significância; ns: Não significativo. Barra de erro referente ao desvio padrão.

Analisando a diferença de cor entre as duas regiões (superfície e centro), nota-se que até o tratamento 190°C – 6h a superfície da madeira de *E. cloeziana* apresentou maior quantidade de tons de vermelho quando comparada com o centro da peça, à medida que se aumenta a temperatura e, conseqüentemente o tempo, ocorreu a inverso. Para a madeira de *E. grandis*, no tratamento mais brando (160°C – 2h) a cromática a^* foi maior na superfície do que no centro, nas demais condições até 190°C – 6h houve um equilíbrio entre as regiões. Já nos tratamentos mais severos (220°C) houve maior proporção de tons de vermelho no centro quando comparado com a superfície.

Com relação a coordenada cromática azul-amarelo (b^*), entre os tratamentos térmicos, a ANOVA fatorial indicou que a superfície das peças não apresentou interação para a madeira de *E. cloeziana*, no entanto, quando analisados separadamente, ambos os fatores foram significativos. Já para a madeira de *E. grandis* houve interação entre os fatores temperatura e tempo (Apêndice 3A). Com relação ao centro das peças, a ANOVA apresentou comportamento inverso para as espécies, ou seja, interação para *E. cloeziana*, bem como a significância dos fatores analisados separadamente para a madeira de *E. grandis*.

Analisando a superfície das peças de *E. cloeziana*, na comparação entre o tratamento mais brando com o mais severo, percebe-se que a temperatura reduziu 85% da cromática b^* , já o tempo analisado separadamente foi responsável pela redução de 22% (Tabela 17). Para *E. grandis* na condição de 160°C e menos representativo em 220°C, houve a oscilação da cromática b^* , diminuindo de 2 horas para 4 horas e aumentando em 6 horas, já em 190°C houve a diminuição conforme o aumento do tempo de exposição ao processo de termorretificação. Já a temperatura diminui a cromática b^* conforme o aumento da severidade dos tratamentos.

Na análise do centro das peças, houve comportamento diferenciado nas três temperaturas de *E. cloeziana*, em que na condição de 160°C o aumento do tempo de exposição resultou no acréscimo da cromática b^* , em 190°C diminuiu de 2 horas para 4 horas e aumentou em 6 horas, já em 220°C diminuiu conforme o aumento do tempo. No efeito da temperatura em cada tempo, pode-se notar que houve a redução da cromática b^* conforme o acréscimo da temperatura. Para a madeira de *E. grandis*, entre o tratamento mais brando com o mais severo, houve a diminuição de 49 e 17% da cromática b^* , respectivamente para a temperatura e tempo.

Tabela 17 - Resumo estatístico e teste de médias para a coordenada cromática azul – amarelo (b*) da superfície e do centro das peças de madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretrificada.

Superfície				
Espécie	DMS	Temperatura (°C)		
		160	190	220
<i>E. cloeziana</i>	2,07	24,64 ^{±2,53} a	15,33 ^{±4,38} b	3,69 ^{±1,46} c
	DMS	Tempo		
		2	4	6
	2,07	16,23 ^{±9,04} a	14,77 ^{±9,27} a	12,66 ^{±9,31} b
<i>E. grandis</i>	Tempo (h)	Temperatura (°C)		
		160	190	220
	2	23,79 ^{±0,68} aA	15,37 ^{±3,26} bA	6,06 ^{±1,61} cA
	4	18,34 ^{±4,42} aB	13,15 ^{±1,45} bA	3,69 ^{±0,53} cA
	6	23,96 ^{±3,02} aA	12,09 ^{±3,75} bA	3,95 ^{±1,17} cA
Centro				
<i>E. cloeziana</i>	Tempo (h)	Temperatura (°C)		
		160	190	220
	2	16,49 ^{±2,24} ab	18,33 ^{±3,61} aA	6,53 ^{±1,18} bA
	4	16,59 ^{±4,26} aB	13,89 ^{±3,21} aB	5,42 ^{±1,21} bA
	6	21,23 ^{±1,32} aA	14,12 ^{±2,03} bB	5,09 ^{±1,07} cA
<i>E. grandis</i>	DMS	Temperatura (°C)		
		160	190	220
	2,19	20,43 ^{±2,95} a	17,69 ^{±3,24} b	10,42 ^{±2,80} c
	DMS	Tempo (h)		
		2	4	6
	2,19	17,27 ^{±4,25} a	16,93 ^{±5,12} a	14,35 ^{±5,17} b

Letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey; DMS: Diferença média significativa; Média^{±desvio padrão}. A DMS para *E. grandis* e *E. cloeziana* na linha e coluna foi de 3,62 (superfície) e 3,05 (centro), respectivamente.

Na análise comparativa entre a madeira tratada com o tratamento controle, verificou-se pela ANOVA geral que ambas as espécies apresentaram significância para a cromática b*, tanto na superfície (Apêndice – 3C) quanto no centro (Apêndice 3D -) das peças. Para a superfície da madeira de *E. cloeziana* houve o acréscimo da cromática b* até o tratamento 160°C – 6h, ou seja, maior quantidade de tons de amarelo quando comparado ao tratamento controle, à medida que se aumentava a temperatura do processo de termorretrificação ocorria a diminuição da cromática b*. Com relação ao centro da peça para a mesma espécie, houve a diminuição da variável nos tratamentos mais brandos (160°C – 2h e 4h), com aumento no tratamento 160°C – 6h (Figura 20). Para a superfície das peças de *E. grandis* houve decréscimo da cromática b* a partir da temperatura de 190°C, para o centro das peças a diferença foi visível a partir dos tratamentos mais severos.

Analisando a diferença de cor entre a superfície e o centro da peça da madeira de *E. cloeziana*, nota-se que nos tratamentos mais brandos no centro da peça foi apresentada uma maior redução da cromática b^* quando comparado com a superfície, no entanto, a medida em que se aumenta a temperatura de termorretificação houve a inversão de comportamento. Tal resultado, é semelhante ao ocorrido para a claridade (L^*), em que supostamente devido a densidade da madeira, temperatura e tempo de termorretificação não foram suficientes para a ocorrência da migração dos extrativos do centro para a superfície. Para o *E. grandis* somente nas condições $160^{\circ}\text{C} - 2\text{h}$ e $160^{\circ}\text{C} - 6\text{h}$ a cromática b^* foi maior na superfície do que no centro das peças.

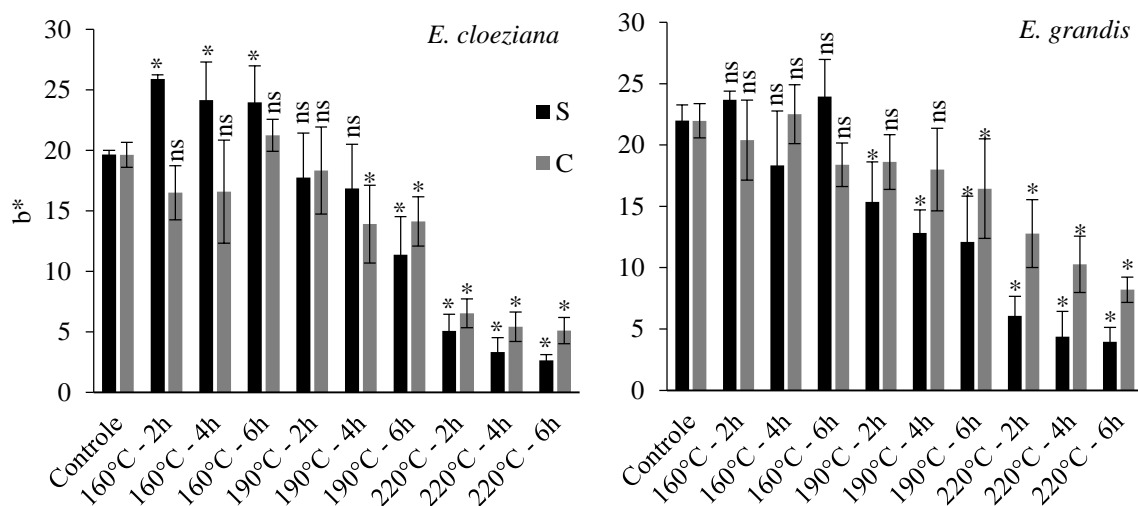


Figura 20 - Comparação de média pelo teste de Dunnett para a coordenada cromática azul – amarelo (b^*) da superfície (S) e do centro (C) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*. A sigla dos tratamentos se refere à temperatura e ao tempo de termorretificação, respectivamente; *5% de significância; ns: Não significativo. Barra de erro referente ao desvio padrão.

O aumento de tons de amarelo nos tratamentos mais brandos e diminuição deste conforme o acréscimo da temperatura foi constatado por outras pesquisas (DUBEY et al., 2012; TODOROVIC et al., 2012; BAYSAL et al., 2014; CONTE et al., 2014). Conforme Gunduz et al. (2010), o leve aumento da cromática b^* , que se refere a cor amarela, pode ser explicado pela desintegração das hemiceluloses e ao aumento de açúcares de baixo peso molecular produzidos durante a degradação térmica. Corroboram Tjeerdsma et al. (1998), no qual afirmam que a formação de produtos de oxidação, tais como quinonas, apresentam contribuição para a mudança de cor na madeira. Para Johansson e Morén (2006), as mudanças na cromática b^* são causadas pela natureza química da reação. Já Mori et al. (2004) afirmam que a cromática b^* pode ser influenciada pelo teor de lignina solúvel e polifenóis.

Com relação à saturação de cor (C^*) entre os tratamentos térmicos, a ANOVA fatorial indicou a não interação entre os fatores temperatura e tempo para a superfície das peças em ambas as espécies, no entanto, quando analisados individualmente obtiveram efeito significativo (Apêndice - 3A). Para o centro das peças foi constatado interação para a madeira de *E. cloeziana*, já em *E. grandis* houve significância somente quando os fatores foram analisados separadamente (Apêndice – 3B).

Tanto na superfície quando no centro das peças verificou-se que a temperatura apresentou maior representatividade para a mudança da C^* do que o tempo (Tabela 18), resultado este que corrobora com pesquisas anteriores com as mesmas espécies (CADEMARTORI et al., 2014a; MISSIO, 2014). Em geral, exceto para o tratamento 190°C – 2h do centro da peça, houve diminuição da C^* em relação ao acréscimo da temperatura. Com relação ao tempo apenas a condição de 160°C para o centro que resultou no aumento da saturação de cor. A diminuição da C^* conforme a severidade dos tratamentos foi relatada em outras pesquisas (DAGBRO et al., 2010; PINCELLI et al., 2012; CADEMARTORI et al., 2013a; CONTE et al., 2014), no qual, o grau de decréscimo está relacionado com a espécie, ao ambiente de transferência de calor, a temperatura e ao tempo de termorretificação. Percebe-se que o desvio padrão foi alto referente as médias do tempo, isso ocorreu devido ao grande efeito da temperatura sobre os tempos específicos (Tabela 18).

Tabela 18 - Resumo estatístico e teste de médias para a saturação de cor (C*) da superfície e do centro das peças de madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretificada.

Superfície					
Espécie	DMS	Temperatura (°C)			
		160	190	220	
<i>E. cloeziana</i>	2,38	27,87 ^{±2,07} a	19,27 ^{±4,67} b	6,66 ^{±1,91} c	
	DMS	Tempo			
		2	4	6	
	2,38	20,61 ^{±9,36} a	16,46 ^{±9,22} b	16,73 ^{±9,13} b	
<i>E. grandis</i>	DMS	Temperatura (°C)			
		160	190	220	
	2,17	27,50 ^{±3,94} a	18,24 ^{±3,87} b	5,00 ^{±1,56} c	
	DMS	Tempo (h)			
		2	4	6	
	2,17	18,48 ^{±9,59} a	17,19 ^{±9,05} ab	15,09 ^{±9,56} b	
Centro					
<i>E. cloeziana</i>	Tempo (h)	Temperatura (°C)			
		160	190	220	
		2	19,55 ^{±2,31} aB	20,72 ^{±3,67} aA	8,11 ^{±1,29} bA
		4	19,75 ^{±4,09} aB	16,72 ^{±3,42} aB	6,79 ^{±1,52} bA
	6	23,43 ^{±1,37} aA	16,29 ^{±1,99} bB	6,39 ^{±1,33} cA	
<i>E. grandis</i>	DMS	Temperatura (°C)			
		160	190	220	
		2,23	25,98 ^{±3,43} a	22,25 ^{±3,35} b	13,38 ^{±3,17} c
		DMS	Tempo (h)		
		2	4	6	
	2,23	22,25 ^{±5,22} a	21,33 ^{±6,91} a	18,04 ^{±6,02} b	

Letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey; DMS: Diferença média significativa; Média^{±desvio padrão}. A DMS para *E. cloeziana* na linha e na coluna foi de 3,58 (Centro).

Na análise comparativa entre a madeira termorretificada com o tratamento controle, verificou-se pela ANOVA geral que em ambas as espécies houve significância, quando analisado a superfície (Apêndice – 3C) e o centro das peças (Apêndice – 3D). Para a madeira de *E. cloeziana* houve aumento máximo de aproximadamente 35% (160°C – 2h) e 12% (160°C – 6h) e diminuição de 85 e 69% ambos para o mesmo tratamento (220°C – 6h), respectivamente para a superfície e o centro das peças (Figura 20). Com relação ao *E. grandis* houve acréscimo máximo de 22,5% (160°C – 2h) e 13% (160°C – 4h) e diminuição de 78 e 57,5% para o tratamento mais severo, respectivamente para a superfície e o centro das peças. Conforme Cademartori et al. (2013a), os tons de cinza escuro da madeira após o processo de termorretificação ocasiona o decréscimo da saturação de cor.

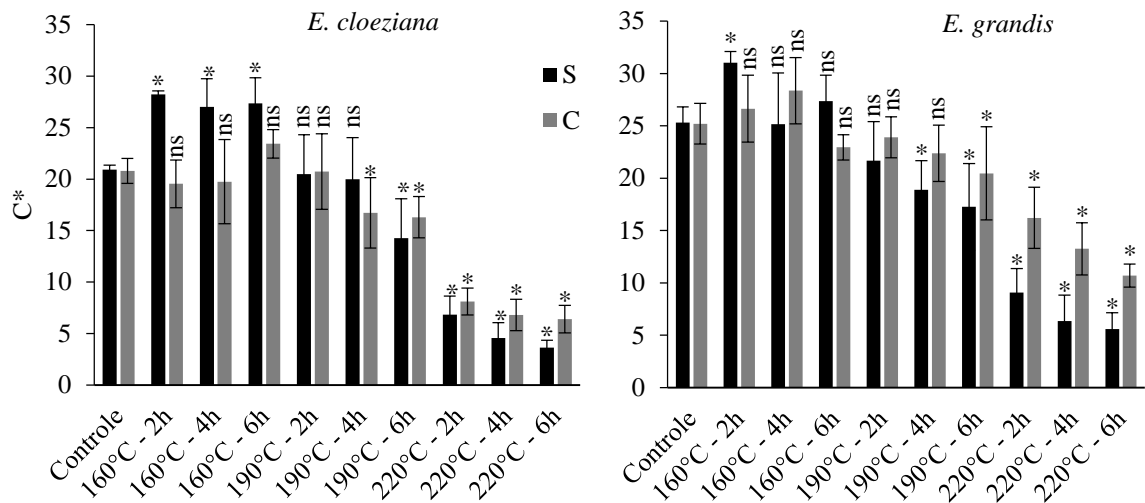


Figura 20 - Comparação de média pelo teste de Dunnett para a saturação de cor (C^*) da superfície (S) e do centro (C) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*. A sigla dos tratamentos se refere à temperatura e ao tempo de termorretificação, respectivamente; *5% de significância; ns: Não significativo. Barra de erro referente ao desvio padrão.

Analisando a diferença de cor da madeira de ambas as espécies entre as duas regiões (superfície e centro), percebe-se que nos tratamentos mais brandos a C^* foi menor no centro da peça do que na superfície, exceto para o tratamento 160°C – 4h da madeira de *E. grandis*, no entanto, a medida em que se aumentava a temperatura e o tempo de termorretificação a situação inverteu, ou seja, maior saturação no interior do que no centro das peças. Desconsiderando o tratamento controle, a maior homogeneidade entre as regiões da C^* foi evidenciada no tratamento 190°C – 2h, em ambas as espécies (Figura 20).

Diante da ANOVA fatorial do ângulo de tinta (h°), entre os tratamentos térmicos, não verificou-se interação na superfície das peças para ambas as espécies, no entanto, quando o fator temperatura foi avaliado individualmente foi verificada significância ($p < 0,05$) tanto para *E. grandis* quanto ao *E. cloeziana*, já o fator tempo somente foi significativo para este último (Apêndice - 3A). Para o centro das peças, foi verificada interação entre a temperatura e o tempo da madeira de *E. cloeziana* termorretificada, já para *E. grandis* não houve significância (Apêndice – 3B).

De modo geral, à medida que se aumenta o tempo e a temperatura do processo térmico ocorre a diminuição do h° da superfície das peças, em ambas as espécies, ou seja, há o decréscimo da tonalidade da madeira (Tabela 19). Tais resultados veem de encontro com os demais parâmetros colorimétricos já descritos acima (L^* , a^* , b^* e C^*). Já com relação ao centro das peças, na madeira de *E. cloeziana* o efeito do tempo apresentou acréscimo no ângulo de tinta no tratamento 160°C – 6h, bem como, para a temperatura na condição 190°C – 2h.

Tabela 19 - Resumo estatístico e teste de médias para o ângulo de tinta (h°) da superfície e do centro das peças de madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretificada.

Superfície					
Espécie	DMS	Temperatura (°C)			
		160	190	220	
<i>E. cloeziana</i>	1,86	63,67 ^{±3,87} a	56,82 ^{±3,24} b	47,02 ^{±1,41} c	
	DMS	Tempo (h)			
		2	4	6	
	1,86	58,09 ^{±8,23} a	55,78 ^{±7,35} b	53,63 ^{±6,58} c	
<i>E. grandis</i>	DMS	Temperatura (°C)			
		160	190	220	
	2,60	47,99 ^{±3,25} a	43,89 ^{±3,34} b	42,95 ^{±3,25} b	
Centro					
<i>E. cloeziana</i>	Tempo (h)	Temperatura (°C)			
		160	190	220	
		2	57,31 ^{±2,47} bB	61,94 ^{±2,13} aA	53,38 ^{±1,94} bA
		4	56,84 ^{±5,91} aB	55,91 ^{±3,58} aB	52,74 ^{±0,46} aA
	6	65,12 ^{±2,98} aA	59,96 ^{±3,41} bAB	52,78 ^{±0,82} cA	
<i>E. grandis</i>	Máximo	Mínimo	Média	CV (%)	
	59,59	43,42	51,47	6,04	

Letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey; DMS: Diferença média significativa; Média^{±desvio padrão}. A DMS para *E. cloeziana* na linha e na coluna foi de 4,27; CV = Coeficiente de variação.

Na análise comparativa entre a madeira tratada e o tratamento controle, a ANOVA geral indicou que tanto o ângulo de tinta da superfície (Apêndice - 3C), quanto do centro (Apêndice - 3D) das peças, foram significativos, em ambas as espécies estudadas. Os valores médios mais altos foram encontrados para os tratamentos controle, tal resultado está relacionado aos tons de amarelo (*E. cloeziana*) e vermelho (*E. grandis*) das respectivas espécies (Figura 21). Segundo Tolvaj e Németh (2008) o valor expresso pelo ângulo de tinta pode variar de 0° (cor vermelha) a 90° (cor amarela). Houve redução do h° em 33 e 25% para a madeira de *E. cloeziana* e 31 e 18% ao *E. grandis*, respectivamente para a superfície e o centro das peças. Conforme Pincelli et al. (2012), este resultado indica que a termorretificação pode ser uma ferramenta para homogeneizar a tonalidade da madeira.

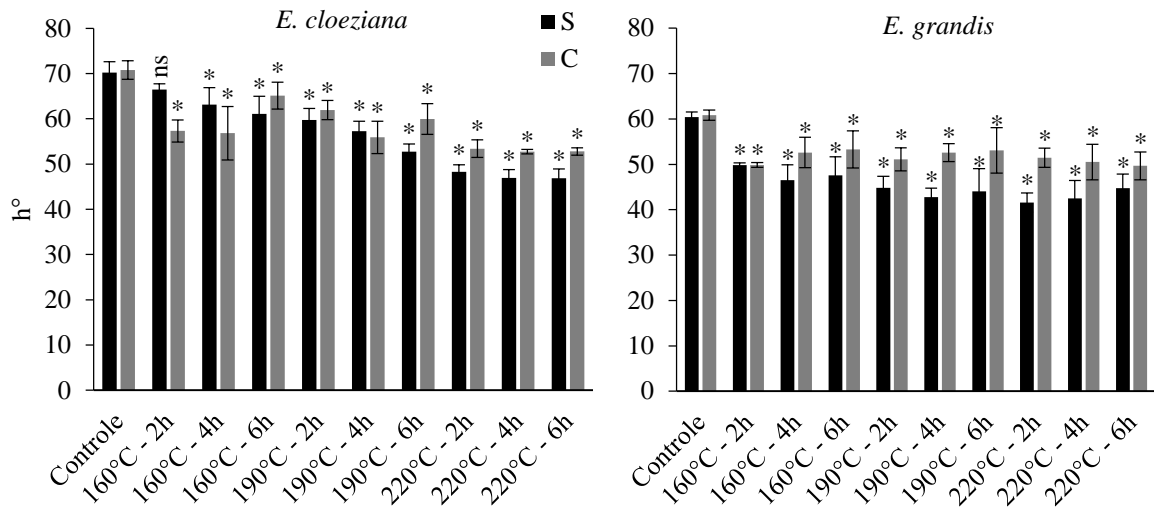


Figura 21 - Comparação de média pelo teste de Dunnett para o ângulo de tinta (h°) da superfície (S) e do centro (C) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*. A sigla dos tratamentos se refere à temperatura e ao tempo de termorretificação, respectivamente; *5% de significância; ns: Não significativo. Barra de erro referente ao desvio padrão.

Analisando a diferença entre as regiões de análise (superfície e centro), percebe-se que a madeira de *E. cloeziana* apresenta menor h° no centro das peças dos tratamentos mais brandos, ao passo que ocorre o acréscimo da temperatura e do tempo este resultado se inverte. Com relação ao *E. grandis*, em todos os tratamentos a superfície das peças apresentou menor h° , aumentando-se a diferença à medida em que havia o acréscimo da temperatura. Conforme Sundqvist (2004), as alterações da tonalidade indicam que houve alteração dos cromóforos da madeira, no qual podem diminuir ou aumentar após o processo de termorretificação.

A variação de cor (ΔE) apresentou acréscimo conforme a severidade dos tratamentos, ou seja, quanto maior a temperatura e tempo de termorretificação maior foram as alterações colorimétricas na madeira (Figura 22). Resultado semelhante foi observado por diversas pesquisas, no qual, a ΔE depende da espécie e das condições do processo de termorretificação (SRINIVAS; PANDEY, 2012; CADEMARTORI et al., 2014a; CONTE et al., 2014; MISSIO, 2014).

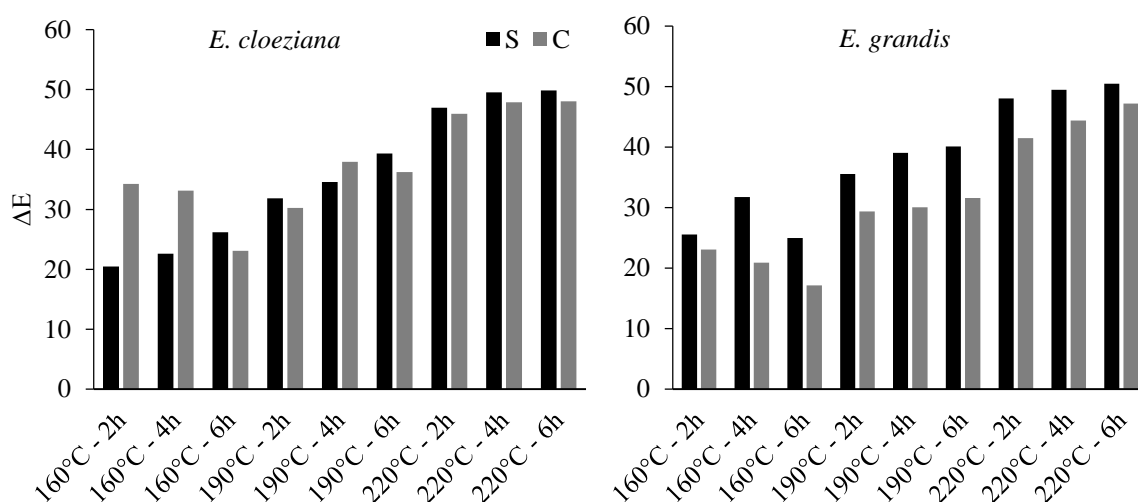


Figura 22 – Variação de cor (ΔE) da superfície (S) e do centro (C) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorreteficada. A sigla dos tratamentos se refere à temperatura e ao tempo de termorreteficação, respectivamente; *5% de significância; ^{ns}: Não significativo. Barra de erro referente ao desvio padrão.

Analisando a diferença de cor entre as duas regiões (centro e superfície), percebe-se que nos tratamentos térmicos mais brandos da madeira de *E. cloeziana* houve maior ΔE no centro das peças, no entanto, a partir que se aumentou o tempo e/ou a temperatura dos tratamentos térmicos houve maior ΔE na superfície. Com relação ao *E. grandis* a maior ΔE foi na superfície, com isso, supõem-se que na maioria dos tratamentos houve migração dos extrativos para a superfície das peças.

5.4 Espectrometria no infravermelho por reflectância total atenuada (ATR – IR)

Através da análise espectral da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* foi possível identificar os principais picos referentes as modificações químicas ocorridas após o processo de termorreteficação. Em geral, a temperatura apresentou maior influência nas alterações químicas do que o tempo, por isso, adotou-se a padronização de apenas um tempo na exposição dos resultados.

Os espectros avaliados compreendem a faixa de 1800 a 800 cm^{-1} , região a qual corresponde a identidade da madeira, devido à localização de vários grupos funcionais (PANDEY, 1999; SRINIVAS; PANDEY, 2012). A partir da análise de espectroscopia no infravermelho por reflectância total atenuada (ATR – IR), verificou-se que ambas as espécies proporcionaram comportamento semelhante quanto ao seu espectro, no entanto, alguns picos

identificados como relevantes na madeira de *E. cloeziana* não apresentaram consideráveis modificações na madeira de *E. grandis* (Figura 23).

No pico 1738 cm^{-1} foi observado aumento da intensidade conforme o acréscimo da temperatura de termorretificação, em ambas espécies estudadas. Resultados semelhantes foram encontrados em diversas pesquisas, variando conforme as condições do processo térmico (TJEERDSMA; MILITZ, 2005; YILDIZ; GÜMÜŞKAYA, 2007; SALMÉN et al., 2008; DUBEY, 2010; CHEN et al., 2012; CADEMARTORI et al., 2013b; MISSIO, 2014). A referida banda está relacionada com a presença dos grupos acetil, atribuída aos estiramentos da ligação C=O de ésteres (MAGATON et al., 2008; PIRES et al., 2012) presente principalmente nas hemiceluloses (FAIX, 1991; CORRALES et al., 2007). Com a alteração dos grupos acetil, principalmente das xilanas O-acetil-(4-O-metilglicurono), pode-se inferir que houve diminuição da função estrutural das hemiceluloses na madeira, devido sua íntima ligação com as microfibrilas celulósicas (SEVERO et al., 2006; MAGATON et al., 2008). Tal resultado vem de encontro com a diminuição das propriedades mecânicas de flexão dinâmica (item 5.2.1), módulo de ruptura (item 5.2.2) e dureza Janka (item 5.2.3).

O pico situado em 1512 cm^{-1} , característico de grupo funcional da lignina (PANDEY, 1999), aumentou sua intensidade conforme o acréscimo da temperatura de termorretificação, sendo a maior alteração visualizada em 220°C . Tal alteração está atribuída ao aumento proporcional da lignina em relação a degradação das holoceluloses, principalmente as polioses (CADEMARTORI et al., 2013b). Conforme Dubey (2010), em temperaturas acima de 200°C aumenta-se acentuadamente o teor de radicais livres na madeira o que conduz reações de acoplamento entre os anéis aromáticos. Tal modificação pode resultar em ligações cruzadas dentre o arranjo da lignina, bem como, constituir uma estrutura condensada (TJEERDSMA et al., 1998).

Com o aumento da condensação da lignina após a aplicação dos tratamentos térmicos, possivelmente houve o aumento do grupo hidroxilo fenólico, e que, como um grupo auxocromo (grupo de átomos que retém a cor), pode ter contribuído para o escurecimento da madeira (CHEN et al., 2012). Conforme Aydemir et al. (2011) e Schwanninger et al. (2004) o pico 1512 cm^{-1} está relacionado as vibrações do esqueleto aromático (C=C) da lignina.

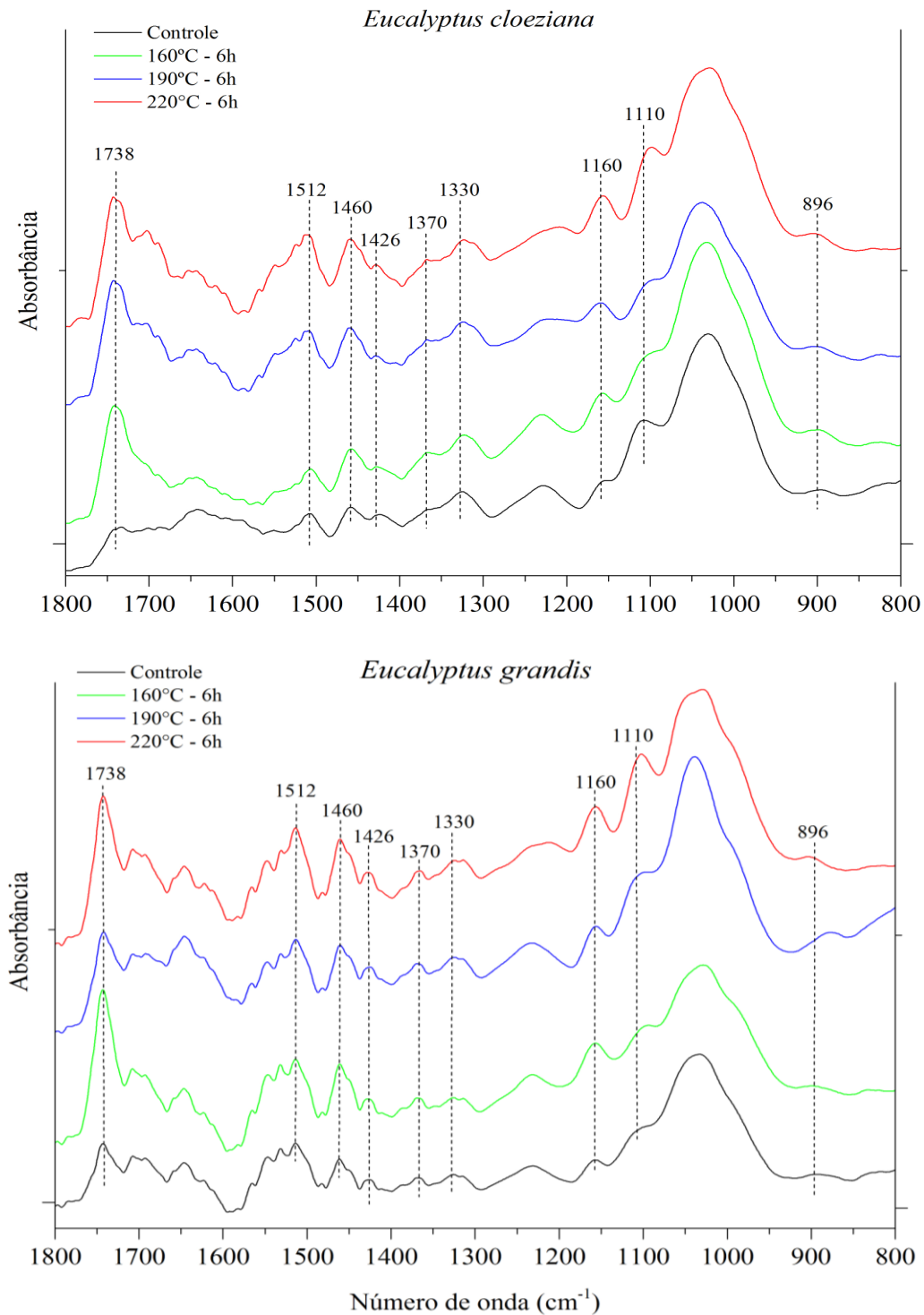


Figura 23 – Análise espectral ATR-IR da madeira não tratada e termorretrificada de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

No pico 1460 cm⁻¹ houve leve acréscimo na intensidade após os tratamentos térmicos quando comparados a madeira não tratada, em ambas as espécies. Aydemir et al. (2011) afirmaram que o determinado pico está relacionado aos extrativos, no qual conferem modificações na cor da madeira. Já Pandey (1999) e Popescu et al. (2013) relatam que a banda

se refere as deformações da ligação C-H da lignina (metil e metileno) e degradação de carboidratos. O pico 1426 cm^{-1} , relacionado as vibrações do esqueleto aromático da lignina e deformações C-H dos carboidratos (KUO et al., 1988; POPESCU et al., 2011a), apresentou aumento de sua intensidade conforme o acréscimo da temperatura para a madeira de *E. cloeziana*, já para *E. grandis* não houve diferença.

Na banda 1370 cm^{-1} foi verificado aumento na intensidade do pico conforme a aplicação dos tratamentos térmico, conforme Yildiz e Gümüşkaya (2007) este pico refere-se a estrutura cristalina da celulose. O aumento da região cristalina se deve a degradação da região amorfa da celulose, na qual, detém maior afinidade com a água (ESTEVES; PEREIRA, 2009). Resultados de aumento da região cristalina após a aplicação de tratamentos térmicos foram evidenciados em pesquisas anteriores (MESHITSUKA; ISOGAI, 1996; YILDIZ et al., 2005).

O pico 1330 cm^{-1} , característico de grupos fenólicos (FAIX, 1991; KOTILAINEN et al., 2000), teve aumento de intensidade conforme o acréscimo da temperatura. Para Popescu et al. (2011b) e Kuo et al. (1988) a alteração se refere a vibrações das ligações C-H da celulose e vibrações C-O derivadas da siringila (lignina).

O pico 1160 cm^{-1} , referente as vibrações C-O-C e alongamento simétrico C-C da celulose e hemiceluloses (KUO et al., 1988; FAIX, 1991; PANDEY; PITMAN, 2003; PIRES et al., 2012), apresentaram aumento da intensidade conforme o acréscimo da temperatura. Resultados semelhantes foram encontrados por pesquisas anteriores (SCHWANNINGER et al., 2004; CADEMARTORI et al., 2013b).

Em 1100 cm^{-1} , foi identificado a diminuição da intensidade do pico para os tratamentos 160°C e 190°C , já para 220°C houve deslocamento e aumento deste pico, quando comparado a madeira não tratada de ambas as espécies. Conforme Bhuiyan et al. (2000) o pico se refere ao estiramento do anel de glucose da hemicelulose e afirmaram que seu aumento está associado ao aumento percentual da celulose cristalina, devido a clivagem e desidratação dos carboidratos. A banda 896 cm^{-1} , atribuída a deformações C-H da celulose (PANDEY; PITMAN, 2003; ÅKERHOLM et al., 2004) não apresentou modificação do pico após o processo de termorretificação, em ambas as espécies estudadas.

6 CONCLUSÕES

De modo geral, o processo de termorretificação em óleo vegetal aplicado à madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* proporcionou modificações consideráveis.

- A variação percentual de massa apresentou acréscimo, equilíbrio e decréscimo nas temperaturas de 160, 190 e 220°C, respectivamente, já o fator tempo foi pouco influente;
- A massa específica básica não apresentou modificação após a realização dos tratamentos térmicos;
- O teor de umidade de equilíbrio da madeira diminuiu, havendo o aumento da estabilidade dimensional conforme a severidade dos tratamentos, no qual o fator tempo apresentou pouca influência;
- A madeira tornou-se menos higroscópica após a aplicação dos tratamentos térmicos;
- O óleo vegetal proporcionou a formação de uma película protetora ao redor das peças que, por sua vez, contribuiu para diminuição da higroscopicidade da madeira;
- O módulo de ruptura e a dureza Janka diminuíram após a aplicação dos tratamentos de termorretificação, já o módulo de elasticidade oscilou, mantendo-se em equilíbrio com a madeira não tratada;
- A aplicação de calor na madeira derivou em consideráveis alterações colorimétricas, fazendo com que a madeira de ambas as espécies ganhasse um tom tropical (marrom escuro), viável para aplicação de fins estéticos;
- A utilização do óleo vegetal como meio de transferência de calor, resultou na homogeneização da cor da madeira tratada, bem como seu escurecimento conforme o acréscimo da temperatura;
- Através da técnica de espectroscopia do infravermelho foi possível identificar as principais modificações na estrutura química da madeira, destacando o aumento da intensidade do pico referente às hemiceluloses, tal alteração reflete na estabilidade dimensional, higroscopicidade e propriedades mecânica da madeira;
- As alterações identificadas nos picos referentes a lignina e extrativos possivelmente tenham contribuído para as mudanças de cor na madeira;
- As alterações identificadas no pico característico da estrutura cristalina da celulose, podem ter contribuído para a diminuição da higroscopicidade e teor de umidade de equilíbrio, bem como, o aumento da estabilidade dimensional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico - NBR NM-ISO 3310-1**. Associação Brasileira de Normas Técnicas: 12 p. 1997a.

_____. **Projeto de estruturas de madeira - NBR/7190**: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): 107 p. 1997b.

ABRAF. **ABRAF. Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília: 148 p. 2013.

ÅKERHOLM, M.; HINTERSTOISSER, B.; SALMÉN, L. Characterization of the crystalline structure of cellulose using static and dynamic FT-IR spectroscopy. **Carbohydrate Research**, v. 339, n. 3, p.569-578, 2004.

AKYILDIZ, M. H.; ATES, S. Effect of heat treatment on equilibrium moisture content (EMC) of some wood species in turkey. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 4, n. 6, p.660-665, 2008.

ALMEIDA, G.; BRITO, J., OTÁVIO; PERRÉ, P. Changes in wood-water relationship due to heat treatment assessed on micro-samples of three *Eucalyptus* species. **Holzforschung**, v. 63, n. 1, p.80, 2009.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p.711-728, 2013.

ANVISA. **RESOLUÇÃO - RDC Nº 482, DE 23 DE SETEMBRO DE 1999**: 33 p. 1999.

ASSOCIATION, F. T. **ThermoWood Handbook**. Helsinki: Finnish ThermoWood Association, 2003. 66.

ASTM. Standards methods of testing small clear specimens of timber: D143-94. In: (Ed.). **Annual Book of ASTM Standard**. West Conshohocken, 2000.

ATES, S.; AKYILDIZ, M. H.; OZDEMIR, H. Effects of heat treatment on calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) wood. **BioResources**, v. 4, n. 3, p.1032-1043, 2009.

AWOYEMI, L.; COOPER, P. A.; UNG, T. Y. In-treatment cooling during thermal modification of wood in soy oil medium: soy oil uptake, wettability, water uptake and swelling properties. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 67, n. 4, p.465-470, 2009.

AYDEMIR, D.; GUNDUZ, G.; ALTUNTAS, E.; ERTAS, M.; SAHIN, H. T.; ALMA, M. H. Investigating changes in the chemical constituents and dimensional stability of heat-treated hornbeam and uludag fir wood. **BioResource**, v. 6, n. 2, p.1308-1321, 2011.

BAK, M.; NÉMETH, R. Changes in swelling properties and moisture uptake rate of oil-heat-treated poplar (*Populus x euramericana* CV. *Pannonia*) wood. **BioResources**, v. 7, n. 4, p.5128-5137, 2012.

BAKAR, B. F.; HIZIROGLU, S.; MD TAHIR, P. Properties of some thermally modified wood species. **Materials & Design**, v. 43, n. 0, p.348-355, 2013.

BAL, B. C.; BEKTAS, I. The effects of heat treatment on the physical properties of juvenile wood and mature wood of *Eucalyptus grandis*. **BioResources**, v. 7, n. 4, p.5117-5127, 2012.

BAL, B. C.; BEKTAŞ, İ. The effects of heat treatment on some mechanical properties of juvenile wood and mature wood of *Eucalyptus grandis*. **Drying Technology**, v. 31, n. 4, p.479-485, 2013.

BATISTA, D. C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro VAP HolzSysteme**. 2012. 339 (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BAYSAL, E.; KART, S.; TOKER, H.; DEGIRMENTEPE, S. Some physical characteristics of thermally modified oriental-beech wood. **Maderas Ciencia y tecnología** v. 16, n. 3, p.291-298, 2014.

BAZYAR, B. Decay resistance and physical properties of oil heat treated aspen wood. **Bioresources**, v. 7, n. 1, p.696-705, 2012.

BHUIYAN, M. T. R.; HIRAI, N.; SOBUE, N. Changes of crystallinity in wood cellulose by heat treatment under dried and moist conditions. **Journal of Wood Science**, v. 46, n. 6, p.431-436, 2000.

BOONSTRA, M. **A two-stage thermal modification of wood**. 2008. 297 (Doutorado). Universidade de Henry Poincaré, Nancy.

BOONSTRA, M.; ACKER, J.; TJEERDSMA, B.; KEGEL, E. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. **Annals of Forest Science**, v. 64, n. 7, p.679-690, 2007.

BOONSTRA, M. J.; TJEERDSMA, B. Chemical analysis of heat treated softwoods. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 64, n. 3, p.204-211, 2006.

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

BRITO, J. O.; SILVA, F. G.; LEÃO, M. M.; ALMEIDA, G. Chemical composition changes in eucalyptus and pinus woods submitted to heat treatment. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 18, p.8545-8548, 2008.

CADEMARTORI, P. H. G. **Propriedades tecnológicas da madeira termorretrificada de três espécies de *Eucalyptus***. 2012. 133 Dissertação Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS.

CADEMARTORI, P. H. G.; MATTOS, B. D.; MISSIO, A. L.; GATTO, D. A. Colour responses of two fast-growing hardwoods to two-step steam-heat treatments. **Materials Research**, v. 17, n. 2, p.487-493, 2014a.

CADEMARTORI, P. H. G.; MISSIO, A. L.; MATTOS, B. D.; GATTO, D. A. Effect of thermal treatment on technological properties of rose gum and Sydney blue gum wood. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 2014b.

CADEMARTORI, P. H. G.; MISSIO, A. L.; MATTOS, B. D.; SCHNEID, E.; GATTO, D. A. Physical and mechanical properties and colour changes of fast-growing gypmie messmate wood subjected to two-step steam-heat treatments. **Wood Material Science & Engineering**, v. 9, n. 1, p.40-48, 2013a.

CADEMARTORI, P. H. G.; SANTOS, P. S. B.; SERRANO, L.; LABIDI, J.; GATTO, D. A. Effect of thermal treatment on physicochemical properties of Gypmie messmate wood. **Industrial Crops and Products**, v. 45, n. 0, p.360-366, 2013b.

CADEMARTORI, P. H. G.; SCHNEID, E.; GATTO, D. A.; BELTRAME, R.; STANGERLIN, D. M. Modification of static bending strength properties of *Eucalyptus grandis* heat-treated wood. **Materials Research**, v. 15, n. 6, p.922-927, 2012.

CALONEGO, F.; SEVERO, E.; BALLARIN, A. Physical and mechanical properties of thermally modified wood from *Eucalyptus grandis*. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, n. 4, p.453-460, 2012.

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 Doutorado Botucatu, SP, Universidade Estadual Paulista

CHAOUCH, M.; DUMARÇAY, S.; PÉTRISSANS, A.; PÉTRISSANS, M.; GÉRARDIN, P. Effect of heat treatment intensity on some conferred properties of different European softwood and hardwood species. **Wood Science and Technology**, v. 47, n. 4, p.663-673, 2013.

CHEN, Y.; FAN, Y.; GAO, J.; STARK, N. M. The effect of heat treatment on the chemical and color change of black locust (*Robinia pseudocacia*) wood flour. **BioResources**, v. 7, n. 1, p.1157-1170, 2012.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos**. 1: 85 p. 2014.

CONTE, B.; MISSIO, A. L.; PERTUZZATTI, A.; CADEMARTORI, P. H. G.; GATTO, D. A. Propriedades físicas e colorimétricas da madeira termorretrificada de *Pinus elliottii* var. *elliottii*. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, 2014.

CORRALES, F.; VILASECA, F.; LLOP, M.; GIRONÈS, J.; MÉNDEZ, J. A.; MUTJÈ, P. Chemical modification of jute fibers for the production of green-composites. **Journal of Hazardous Materials**, v. 144, n. 3, p.730-735, 2007.

DAGBRO, O.; TORNIAINEN, P.; KARLSSON, O.; MORÉN, T. Colour responses from wood, thermally modified in superheated steam and pressurized steam atmospheres. **Wood Material Science & Engineering**, v. 5, n. 3-4, p.211-219, 2010.

DAVIDS, W. H.; THOMPSON, W. S. Influence of thermal treatments of short duration on the toughness and chemical composition of wood. **Forest Products Journal**, v. 8, p.350-356, 1964.

DELUCIS, R. A.; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G.; MISSIO, A. L.; SCHNEID, E. Propriedades físicas da madeira termorretrificada de quatro folhosas. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 1, p.99-107, 2014.

DUBEY, M., K.; PANG, S.; WALKER, J. Changes in chemistry, color, dimensional stability and fungal resistance of *Pinus radiata* D. don wood with oil heat-treatment. **Holzforschung**, v. 66, n. 1, p.49, 2012.

DUBEY, M. K. **Improvements in stability, durability and mechanical properties of radiata pine wood after heat-treatment in a vegetable oil**. 2010. (Doutorado). Universidade de Canterbury, Canterbury.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: CEPEF/FATEC. Série técnica, 10: 33 p. 1992.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. Brasília - DF: Embrapa, 2013. 353.

ESTEVES, B.; GRAÇA, J.; PEREIRA, H. Extractive composition and summative chemical analysis of thermally treated *Eucalyptus* wood. **Holzforschung**, v. 62, n. 3, p.344–351, 2008a.

ESTEVEES, B.; NUNES, L.; DOMINGOS, I.; PEREIRA, H. Comparison between heat treated sapwood and heartwood from *Pinus pinaster*. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 72, n. 1, p.53-60, 2014.

ESTEVEES, B.; VELEZ MARQUES, A.; DOMINGOS, I.; PEREIRA, H. Heat-induced colour changes of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. **Wood Science and Technology**, v. 42, n. 5, p.369-384, 2008b.

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

FAIX, O. Classification of lignins from different botanical origins by FT-IR spectroscopy. **Holzforschung - International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood**, v. 45, n. 1, p.21 - 27, 1991.

FAO. **Forest products annual market review**: Food, Agriculture Organization of the United Nations 2012.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin/New York: Walter de Gruyter, 1984.

FONSECA, A. Environmental management in wood processing industries and the European legislation on VOC emission control. 1st International Conference on Environmentally-compatible Forest Products, 2004, Fernando Pasa University, Porto. p.313 - 323.

GIERLINGER, N.; JACQUES, D.; GRABNER, M.; WIMMER, R.; SCHWANNINGER, M.; ROZENBERG, P.; PÂQUES, L. Colour of larch heartwood and relationships to extractives and brown-rot decay resistance. **Trees**, v. 18, n. 1, p.102-108, 2004.

GONZÁLEZ-PEÑA, M., M; HALE, M., D. C. Colour in thermally modified wood of beech, Norway spruce and Scots pine. Part 1: Colour evolution and colour changes. **Holzforschung**, v. 63, n. 4, p.385, 2009.

GÜNDOZ, G.; AYDEMİR, D. Some physical properties of heat-treated hornbeam (*Carpinus betulus* L.) wood. **Drying Technology**, v. 27, n. 5, p.714-720, 2009.

GÜNDOZ, G.; AYDEMİR, D.; KORKUT, S. The effect of heat treatment on some mechanical properties and color changes of uludag fir wood. **Drying Technology**, v. 28, n. 2, p.249-255, 2010.

GÜNDÜZ, G.; KORKUT, S.; KORKUT, D. S. The effects of heat treatment on physical and technological properties and surface roughness of Camiyanı Black Pine (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*) wood. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 7, p.2275-2280, 2008.

HILL, C. A. S. **Wood Modification: Chemical, thermal and other processes**. 1st. Chichester: John Wiley & Sons, 2006. 260.

HILLIS, W. E.; ROZSA, A. N. High temperature and chemical effects on wood stability. **Wood Science and Technology**, v. 19, n. 1, p.57-66, 1985.

HOMAN, W.; TJEERDSMA, B.; BECKERS, E.; JORISSEN, A. Structural and other properties of modified wood. World Conference on Timber Engineering, 2000, Canada. British Columbia. p.8.

HON, N.-S. Formation of free radicals in photoirradiated cellulose. VIII. Mechanisms. **Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition**, v. 14, n. 10, p.2497-2512, 1976.

JANIN, G.; GONÇALEZ, J. C.; ANANIAS, R.; CHARRIER, B.; SILVA, G. F.; DILEM, A. Aesthetics appreciation of wood colour and patterns by colorimetry: part 1, colorimetry theory for the CIELAB system. **Maderas, Ciencia y tecnología**, v. 3, p.3-13, 2001.

JANKOWSKY, I. P. Variação sazonal da umidade de equilíbrio para madeira de Pinus. **IPEF**, v. 31, p.41-46, 1985.

JIANG, J.; LU, J.; ZHOU, Y.; HUANG, R.; ZHAO, Y.; JIANG, J. Optimization of processing variables during heat treatment of oak (*Quercus mongolica*) wood. **Wood Science and Technology**, v. 48, n. 2, p.253-267, 2014.

JOHANSSON, D.; MORÉN, T. The potential of colour measurement for strength prediction of thermally treated wood. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 64, n. 2, p.104-110, 2006.

KAČÍKOVÁ, D.; KAČÍK, F.; ČABALOVÁ, I.; ĎURKOVIČ, J. Effects of thermal treatment on chemical, mechanical and colour traits in Norway spruce wood. **Bioresource Technology**, v. 144, n. 0, p.669-674, 2013.

KESIK, H. I.; KORKUT, S.; HIZIROGLU, S.; SEVIK, H. An evaluation of properties of four heat treated wood species. **Industrial Crops and Products**, v. 60, n. 0, p.60-65, 2014.

KIM, D.-Y.; NISHIYAMA, Y.; WADA, M.; KUGA, S.; OKANO, T. Thermal decomposition of cellulose crystallites in wood. **Holzforschung**, v. 55, n. 5, p.521-524, 2001.

KLITZKE, R. J. **Curso de secagem da madeira**: 119 p. 2005.

KOCAEFE, D.; PONCSAK, S.; DORÉ, G.; YOUNSI, R. Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 66, n. 5, p.355-361, 2008.

KORKUT, D. S.; GULLER, B. The effects of heat treatment on physical properties and surface roughness of red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 8, p.2846-2851, 2008.

KORKUT, D. S.; KORKUT, S.; BEKAR, I.; BUDAKÇI, M.; DILIK, T.; ÇAKICIER, N. The effects of heat treatment on the physical properties and surface roughness of turkish hazel (*Corylus colurna* L.) wood. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 9, n. 9, p.1772-1783, 2008.

KORKUT, S.; BUDAKÇI, M. Effect of high-temperature treatment on the mechanical properties of rowan (*Sorbus aucuparia* L.) wood. **Drying Technology**, v. 27, n. 11, p.1240-1247, 2009.

KOTILAINEN, R. A.; TOIVANEN, T.-J.; ALÉN, R. J. FTIR monitoring of chemical changes in softwood during heating. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v. 20, n. 3, p.307-320, 2000.

KUO, M.-L.; MCCLELLAND, J. F.; LUO, S.; CHIEN, P.-L.; WALKER, R. D.; HSE, C.-Y. Applications of infrared photo-acoustic spectroscopy for wood samples. **Wood & Fiber Science**, v. 20, n. 1, p.132-145, 1988.

LABORATORY, F. P. Wood handbook. **Department of Agriculture, Forest Service**, p.508, 2010.

LEITHOFF, H.; PEEK, R. D. **Hitzebehandlung - eine alternative zum chemischen holzschutz**. Tagungsband zur 21. Holzschutz-Tagung der DGfH in Rosenheim: 97-108 p. 1998.

MAGATON, A. S.; VELOSO, D. P.; COLODETTE, J. L. Caracterização das O-acetil-(4-O-metilglicurono) xilanas isoladas da madeira de *Eucalyptus urograndis*. **Química nova**, v. 31, n. 5, p.1085-1088, 2008.

MARQUES, A. P. S. **Caracterização e transformação de lenhosulfonatos de *Eucalyptus globulus***. 2011. 267 p. (Dissertação). Departamento de Química, Universidade de Aveiro.

MATTOS, B. D.; CADEMARTORI, P. H. G.; LOURENÇON, T. V.; GATTO, D. A. Colour changes of Brazilian Eucalypts wood by natural weathering. **International Wood Products Journal**, v. 5, n. 1, p.33-38, 2014.

MBURU, F.; DUMARÇAY, S.; BOCQUET, J. F.; PETRISSANS, M.; GÉRARDIN, P. Effect of chemical modifications caused by heat treatment on mechanical properties of *Grevillea robusta* wood. **Polymer Degradation and Stability**, v. 93, n. 2, p.401-405, 2008.

MENZ. **Menz OHT: The future of wood treatment**. 163p. 2014. Disponível em: http://www.menzholz.de/files/unternehmen/178_1_pdf__menz_outdoor_collection_2014__engels_.pdf. Acesso : 09/08/2014.

MESHITSUKA, G.; ISOGAI, A. **Chemical structures of cellulose, hemicelluloses, and lignin**. New York: Marcel Dekker Ltd, 1996. 370.

MILITZ, H. **Heat treatment technologies in europe**: Scientific background and technological state-of-art. Enhancing the durability of lumber and engineered wood products, Forest Products Society, 2002.

MISSIO, A. L. **Propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus* submetida a tratamentos de congelamento e termorreificação**. 2014. p. 152 Dissertação Engenharia florestal, UFSM, Santa Maria, RS.

MMA. **Caracterização de diferentes oleaginosas para a produção de biodiesel**. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/item_5.pdf. 2006.

MOHEBBY, B.; KEVILY, H.; NAJAFI, S. K. Oleothermal modification of fir wood with a combination of soybean oil and maleic anhydride and its effects on physico-mechanical properties of treated wood. **Wood Sci Technol**, 2014.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. 168 p. 2010. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/publicacoes/propriedadesdamadeira2010.pdf>. Acesso: 03/05/2014.

MORI, C. L. S. D. O.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; OLIVEIRA, A. C. Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p.123-132, 2004.

MOURA, L. F.; BRITO, J. O.; BORTOLETTO, G. Efeitos da termorreificação na perda de massa e propriedades mecânicas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* VAR. *hondurensis*. **Floresta**, v. 42, n. 2, p.305-314, 2012.

MOURA, L. F. D.; BRITO, J. O. Effect of thermal rectification on colorimetric properties of *Eucalyptus grandis* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* woods. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 89, p.69-76, 2011.

NEJAD, M.; SHAFAGHI, R.; ALI, H.; COOPER, P. Coating performance on oil-heat treated wood for flooring. **Bioresource** v. 8, n. 2, p.1881-1892, 2013.

NUOPPONEN, M.; VUORINEN, T.; JÄMSÄ, S.; VIITANIEMI, P. Thermal modifications in softwood studied by FT-IR and UV resonance raman spectroscopies. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v. 24, n. 1, p.13-26, 2005.

OLARESCU, M. C.; CAMPEAN, M.; ISPAS, M.; COSEREANU, C. Effect of thermal treatment on some properties of lime wood. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 72, n. 4, p.559-562, 2014.

OLSSON, T.; MEGNIS, M.; VARNA, J.; LINDBERG, H. Measurement of the uptake of linseed oil in pine by the use of an X-ray microdensitometry technique. **Journal of Wood Science**, v. 47, n. 4, p.275-281, 2001.

PANDEY, K. K. A study of chemical structure of soft and hardwood and wood polymers by FTIR spectroscopy. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 71, n. 12, p.1969-1975, 1999.

PANDEY, K. K.; PITMAN, A. J. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 52, n. 3, p.151-160, 2003.

PERDURE. Le bois perdure. 2013. Disponível em: <<http://www.perdure.com/>>. Acesso em: 29/03/2013.

PFRIEM, A.; BUCHELT, B.; ZAUER, M.; WAGENFÜHR, A. Comparative analysis of thermally modified and native spruce loaded perpendicular to the grain. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 68, n. 3, p.267-270, 2010.

PHELPS, J. E.; STOKKE, D. D.; PUGEL, A. D. Color analysis of white oak edge-glued furniture panel stock. **Forest products journal**, v. 44, n. 2, 1994.

PINCELLI, A. L. P. S. M.; MOURA, L. F.; BRITO, J. O. Effect of thermal rectification on colors of *Eucalyptus saligna* and *Pinus caribaea* woods. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 14, n. 2, p.239 - 249, 2012.

PIRES, E. N.; MERLINI, C.; QURESHI, H. A.; SALMÓRIA, G. V.; BARRA, G. M. O. Efeito do tratamento alcalino de fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi. **Polímeros**, v. 22, n. 4, p.339-344, 2012.

PLATO. **The plato technology**. Plato International. p.2. 2009. Disponível em: <http://www.ecochoice.co.uk/The%20Plato%20Technology.pdf>. Acesso: 05/10/2014.

_____. Het plato proces. Sint-Ondenrode, 2013. Disponível em: <<http://www.vanaarlehoutbedrijf.nl/pdf/platowood-plato-hout-het-plato-proces.pdf>>. Acesso em: 01/03/2014.

POLETTI, M. **Avaliação da estabilidade térmica e da cinética de degradação da madeira através da caracterização de seus componentes**. 2014. 63 Doutorado Departamento de materiais, UFRGS

POPESCU, C.-M.; POPESCU, M.-C.; VASILE, C. Structural analysis of photodegraded lime wood by means of FT-IR and 2D IR correlation spectroscopy. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 48, n. 4, p.667-675, 2011a.

POPESCU, M.-C.; FROIDEVAUX, J.; NAVI, P.; POPESCU, C.-M. Structural modifications of *Tilia cordata* wood during heat treatment investigated by FT-IR and 2D IR correlation spectroscopy. **Journal of Molecular Structure**, v. 1033, n. 0, p.176-186, 2013.

POPESCU, M.-C.; POPESCU, C.-M.; LISA, G.; SAKATA, Y. Evaluation of morphological and chemical aspects of different wood species by spectroscopy and thermal methods. **Journal of Molecular Structure**, v. 988, n. 1-3, p.65-72, 2011b.

PRIADI, T.; HIZIROGLU, S. Characterization of heat treated wood species. **Materials & Design**, v. 49, p.575-582, 2013.

PRODUCTS, B. T. **Timber cladding guide**: 22 p. 2014.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. L. Retificação térmica de *Eucalyptus grandis*. **Revista Floresta**, p.60-66, 2002.

RAPP, A. O. **Review on heat treatments of wood**. Special seminar: Environmental optimisation of wood protection. ANTIBES. France: COST ACTION E 22: 68 p. 2001.

RAPP, A. O.; SAILER, M. **Heat treatment of wood in Germany - state of the art**. Oslo: Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft 2000.

RAUTKARI, L.; HONKANEN, J.; HILL, C. S.; RIDLEY-ELLIS, D.; HUGHES, M. Mechanical and physical properties of thermally modified Scots pine wood in high pressure reactor under saturated steam at 120, 150 and 180 °C. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 72, n. 1, p.33-41, 2014.

REMADE. Características intrínsecas da madeira. 2001a. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=4&subject=Caracter%C3%ADsticas&title=Caracter%C3%ADsticas%20Intr%C3%ADnsecas%20da%20Madeira>. Acesso em: 22/04/2014.

_____. Retratibilidade da madeira. 2001b. Disponível em: < http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=26&subject=Retratibilidade&title=A%20Retratibilidade%20da%20Madeira >. Acesso em: 29/07/2014.

RETIWOOD. Retiwood: retified wood process. 2013. Disponível em: < <http://www.retiwood.com/en/processes.html> >. Acesso em: 29 mar. 2013.

ROWELL, R., M; IBACH, R., E; MCSWEENEY, J.; NILSSON, T. Understanding decay resistance, dimensional stability and strength changes in heat-treated and acetylated wood. **Wood Material Science & Engineering**, v. 4, n. 1-2, p.14-22, 2009.

ROWELL, R. M.; BANKS, W. B. **Water repellency and dimensional stability of wood**. General Technical Report. Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory: 50 p. 1985.

SAILER, M.; RAPP, A. O.; LEITHOFF, H. **Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil-heat treatment**. PROTECTION-IRG, T. I. R. G. I. W. 2000.

SALMÉN, L.; POSSLER, H.; STEVANIC JASNA, S.; STANZL-TSCHEGG STEFANIE, E. **Analysis of thermally treated wood samples using dynamic FT-IR-spectroscopy**. *Holzforschung*. 62: 676 p. 2008.

SANDOVAL-TORRES, S.; JOMAA, W.; MARC, F.; PUIGGALI, J.-R. Colour alteration and chemistry changes in oak wood (*Quercus pedunculata* Ehrh) during plain vacuum drying. **Wood Science and Technology**, v. 46, n. 1, p.177-191, 2010.

SCHIMLECK, L. R.; CLARK, A. Wood quality. 2008. Disponível em: < <https://sites.google.com/site/forestryencyclopedia/Home/Wood%20Quality> >. Acesso em: 29/07/2014.

SCHWANNINGER, M.; HINTERSTOISSER, B.; GIERLINGER, N.; WIMMER, R.; HANGER, J. Application of fourier transform near infrared spectroscopy (FT-NIR) to thermally modified wood. **Holz als Roh- und Werkstoff**, 2004.

SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W.; SANSÍGOLO, C. A. Composição química da madeira de *Eucalyptus citriodora* em função das direcções estruturais. **Silva Lusitana**, v. 14, n. 1, p.113-126, 2006.

SIAU, J. F. Capillarity and water potential. In: (Ed.): Springer Berlin Heidelberg, v.2, 1984. cap. 4, p.105-131.

SIDOROVA, O. Oil heat treatment of wood. Proceedings of the 4 meeting of the Nordic Baltic network in wood, Material science and engineering. Latvia, 2008.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. **Revista árvore**, v. 27, n. 2, p.233-239, 2003.

SIVONEN, H.; MAUNU, S. L.; SUNDHOLM, F.; JÄMSÄ, S.; VIITANIEMI, P. **Magnetic resonance studies of thermally modified wood**. *Holzforschung*. 56: 648-654 p. 2002.

SJÖSTRÖM, E. Lignin: wood chemistry, fundamentals and applications. **Academic Pres**, p.71-89, 1993.

SRINIVAS, K.; PANDEY, K. K. Effect of heat treatment on color changes, dimensional stability, and mechanical properties of wood. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v. 32, n. 4, p.304-316, 2012.

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

SUNDQVIST, B. Color response of Scots pine (*Pinus sylvestris*), Norway spruce (*Picea abies*) and birch (*Betula pubescens*) subjected to heat treatment in capillary phase. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 60, n. 2, p.106-114, 2002.

SUNDQVIST, B. **Colour changes and acid formation in wood during heating**. 2004. p. 154 (Doutorado). Division of Wood Material Science, Lulea University of Technology, Skelleftea.

SUNDQVIST, B.; KARLSSON, O.; WESTERMARK, U. Determination of formic-acid and acetic acid concentrations formed during hydrothermal treatment of birch wood and its relation to colour, strength and hardness. **Wood Science and Technology**, v. 40, n. 7, p.549-561, 2006.

TAJVIDI, M.; TAKEMURA, A. Thermal degradation of natural fiber-reinforced polypropylene composites. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 4, n. 3, 2009.

THEANDER, O.; NELSON, D. A. Aqueous, high-temperature transformation of carbohydrates relative to utilization of biomass. *Advances in Carbonhydrate Chemistry and Biochemistry*, 1988, San Diego. p.273-326.

TJEERDSMA, B. F.; BOONSTRA, M.; PIZZI, A.; TEKELY, P.; MILITZ, H. Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 56, n. 3, p.149-153, 1998.

TJEERDSMA, B. F.; MILITZ, H. Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 63, n. 2, p.102-111, 2005.

TODOROVIC, N.; POPOVIC, Z.; MILIC, G.; POPADIC, R. Estimation of heat-treated beechwood properties by color change. **BioResources**, v. 7, n. 1, p.799-815, 2012.

TOLVAJ, L.; NÉMETH, K. Correlation between hue-angle and colour lightness of steamed black locust wood. **Acta Silvatica & Lignaria Hungarica**, v. 4, p.55-59, 2008.

TUONG, V. M.; LI, J. Changes caused by heat treatment in chemical composition and some physical properties of acacia hybrid sapwood. **Holzforschung**, v. 65, p.67-72, 2011.

USDA. **Oilseeds: World markets and trade**. p.35. 2014

VARGA, D.; VAN DER ZEE, M. E. Influence of steaming on selected wood properties of four hardwood species. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 66, n. 1, p.11-18, 2008.

VERNOIS, M. **Heat treatment of wood in France – state of the art**. PROCEEDINGS OF SPECIAL SEMINAR OF COST ACTION E22, 2001, Antibes. p.39-46.

WANG, J. Y.; COOPER, P. A. Effect of oil type, temperature and time on moisture properties of hot oil-treated wood. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 63, n. 6, p.417-422, 2005.

WELZBACHER, C., R; BRISCHKE, C.; OTTO, R., A. Influence of treatment temperature and duration on selected biological, mechanical, physical and optical properties of thermally modified timber. **Wood Material Science & Engineering**, v. 2, n. 2, p.66-76, 2007.

WWF. **Forests and wood products** WWF living forests report: Chapter 4: 42 p. 2012.

_____. Demanda por madeira pode triplicar até 2050. 2013. Disponível em: <http://www.wwf.org.br/?33562/Demanda-por-madeira-deve-triplicar-at-2050#disqus_thread>.

XIE, Y.; FU, Q.; WANG, Q.; XIAO, Z.; MILITZ, H. Effects of chemical modification on the mechanical properties of wood. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 71, n. 4, p.401-416, 2013.

YAO, J.; TAYLOR, F. Effect of high-temperature drying on the strength of southern pine dimension lumber. **Forest Products Journal**, v. 29, n. 8, p.49-51, 1979.

YILDIZ, S.; GEZER, E. D.; YILDIZ, U. C. Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. **Building and Environment**, v. 41, n. 12, p.1762-1766, 2006.

YILDIZ, S.; GÜMÜŞKAYA, E. The effects of thermal modification on crystalline structure of cellulose in soft and hardwood. **Building and Environment**, v. 42, n. 1, p.62-67, 2007.

YILDIZ, U.; YILDIZ, S.; GEZER, E. Mechanical and chemical Behavior of Beech wood modified by heat. **Wood and Fiber Science**, v. 37, n. 3, p.456-461, 2005.

APÊNDICES

Apêndice 1A – Análise de variância fatorial para massa específica básica ($\rho_{\text{básica}}$) e teor de umidade de equilíbrio (TU_{eq}) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretificada.

Prop.	FV	GL	SQ	QM	F
<i>Eucalyptus cloeziana</i>					
$\rho_{\text{básica}}$	Temperatura (A)	2	$7,35 \times 10^{-3}$	$3,68 \times 10^{-3}$	1,17 ^{ns}
	Tempo (B)	2	$1,53 \times 10^{-3}$	$7,6 \times 10^{-4}$	0,24 ^{ns}
	A x B	4	$2,43 \times 10^{-2}$	$6,08 \times 10^{-3}$	1,94 ^{ns}
	Resíduo	126	0,39	$3,14 \times 10^{-3}$	
TU_{eq}	Temperatura (A)	2	381,67	190,84	1259,47**
	Tempo (B)	2	3,04	1,52	10,04**
	A x B	4	4,32	1,08	7,13**
	Resíduo	126	19,09	0,15	
<i>Eucalyptus grandis</i>					
$\rho_{\text{básica}}$	Temperatura (A)	2	$1,02 \times 10^{-2}$	$5,1 \times 10^{-3}$	2,92 ^{ns}
	Tempo (B)	2	$6,72 \times 10^{-3}$	$3,36 \times 10^{-3}$	2,05 ^{ns}
	A x B	4	$8,78 \times 10^{-3}$	$2,19 \times 10^{-3}$	1,34 ^{ns}
	Resíduo	126	0,21	$1,64 \times 10^{-3}$	
TU_{eq}	Temperatura (A)	2	311,88	155,94	763,94**
	Tempo (B)	2	22,66	11,33	55,51**
	A x B	4	5,15	1,29	6,31**
	Resíduo	126	25,72	0,21	

Prop: Propriedade; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; F: F calculado; ^{ns}: Não significativo ao nível de 5% de significância; **Significativo ao nível de 1% de significância. *Significativo ao nível de 5% de significância.

Apêndice 1B – Análise de variância fatorial para o inchamento longitudinal (αL), radial (αR), tangencial (αT) e volumétrico (ΔV) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretrificada.

Prop.	FV	GL	SQ	QM	F
<i>Eucalyptus cloeziana</i>					
αL	Temperatura (A)	2	0,62	0,31	24,21**
	Tempo (B)	2	$5,1 \times 10^{-3}$	$2,55 \times 10^{-3}$	0,19 ^{ns}
	A x B	4	$3,47 \times 10^{-2}$	$8,69 \times 10^{-3}$	0,68 ^{ns}
	Resíduo	126	1,62	$1,28 \times 10^{-2}$	
αR	Temperatura (A)	2	113,85	56,93	75,66**
	Tempo (B)	2	6,50	3,25	4,32*
	A x B	4	4,87	1,22	1,62 ^{ns}
	Resíduo	126	94,80	0,75	
αT	Temperatura (A)	2	527,62	263,81	330,77**
	Tempo (B)	2	9,37	4,68	5,87**
	A x B	4	4,71	1,18	1,47 ^{ns}
	Resíduo	126	100,49	0,79	
ΔV	Temperatura (A)	2	1393,74	696,87	275,85**
	Tempo (B)	2	44,46	22,23	8,80**
	A x B	4	20,22	5,05	2,00 ^{ns}
	Resíduo	126	318,31	2,53	
<i>Eucalyptus grandis</i>					
αL	Temperatura (A)	2	0,98	0,49	75,99**
	Tempo (B)	2	$2,31 \times 10^{-2}$	$1,16 \times 10^{-2}$	1,78 ^{ns}
	A x B	4	$9,17 \times 10^{-2}$	$2,29 \times 10^{-2}$	3,53**
	Resíduo	126	0,82	$6,5 \times 10^{-3}$	
αR	Temperatura (A)	2	97,75	48,87	120,03**
	Tempo (B)	2	0,04	0,02	0,05 ^{ns}
	A x B	4	1,68	0,42	1,03 ^{ns}
	Resíduo	126	51,31	0,41	
αT	Temperatura (A)	2	405,59	202,79	468,17**
	Tempo (B)	2	8,18	4,09	9,45**
	A x B	4	1,29	0,32	0,75 ^{ns}
	Resíduo	126	54,58	0,43	
ΔV	Temperatura (A)	2	1045,78	522,89	302,38**
	Tempo (B)	2	9,27	4,63	2,68 ^{ns}
	A x B	4	5,80	1,45	0,84 ^{ns}
	Resíduo	126	217,89	1,73	

Prop: Propriedade; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; F: F calculado; ^{ns}: Não significativo ao nível de 5% de significância; **Significativo ao nível de 1% de significância. *Significativo ao nível de 5% de significância.

Apêndice 1C – Análise de variância geral para a massa específica básica ($\rho_{\text{básica}}$) e teor de umidade de equilíbrio (TU_{eq}) pelo teste de Dunnett da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

<i>Eucalyptus cloeziana</i>					
Propriedade	FV	GL	SQ	QM	F
$\rho_{\text{básica}}$	Tratamentos	9	$4,4 \times 10^{-2}$	$4,92 \times 10^{-3}$	1,58 ^{ns}
	Resíduo	140	0,43	$3,11 \times 10^{-3}$	
	Total	149	0,48		
TU_{eq}	Tratamentos	9	1238,70	137,63	956,79**
	Resíduo	140	20,14	0,14	
	Total	149	1258,84		
<i>Eucalyptus grandis</i>					
$\rho_{\text{básica}}$	Tratamentos	9	$4,93 \times 10^{-2}$	$5,48 \times 10^{-3}$	3,45**
	Resíduo	140	0,22	$1,59 \times 10^{-3}$	
	Total	149	0,27		
TU_{eq}	Tratamentos	9	1112,81	123,64	599,04**
	Resíduo	140	28,89	0,21	
	Total	149	1141,70		

Prop: Propriedade; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; F: F calculado; ^{ns}: Não significativo ao nível de 5% de significância; **Significativo ao nível de 1% de significância. *Significativo ao nível de 5% de significância.

Apêndice 1D – Análise de variância geral para inchamento longitudinal (α L), radial (α R), tangencial (α T) e volumétrico (Δ V) pelo teste de Dunnett da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

Prop.	FV	GL	SQ	QM	F
<i>Eucalyptus cloeziana</i>					
α L	Tratamentos	9	0,73	$8,15 \times 10^{-2}$	6,3**
	Resíduo	140	1,81	$1,29 \times 10^{-2}$	
	Total	149	2,54		
α R	Tratamentos	9	138,19	15,35	20,03**
	Resíduo	140	107,32	0,77	
	Total	149	245,51		
α T	Tratamentos	9	663,77	73,75	74,55**
	Resíduo	140	138,49	0,99	
	Total	149	802,27		
Δ V	Tratamentos	9	1742,49	193,62	65,79**
	Resíduo	140	412,02	2,94	
	Total	149	2154,51		
<i>Eucalyptus grandis</i>					
α L	Tratamentos	9	1,67	0,18	27,66**
	Resíduo	140	0,94	$6,7 \times 10^{-3}$	
	Total	149	2,61		
α R	Tratamentos	9	130,42	14,49	35,72**
	Resíduo	140	56,79	0,41	
	Total	149	187,21		
α T	Tratamentos	9	558,55	62,06	138,43**
	Resíduo	140	62,76	0,45	
	Total	149	621,32		
Δ V	Tratamentos	9	1434,45	159,38	91,39**
	Resíduo	140	244,15	1,74	
	Total	149	1678,61		

Prop: Propriedade; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; F: F calculado; ns: Não significativo ao nível de 5% de significância; **Significativo ao nível de 1% de significância. *Significativo ao nível de 5% de significância.

Apêndice 2A – Análise de variância fatorial para a resistência máxima ao impacto ($f_{\text{máx}}$), módulo de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretrificada.

Prop.	FV	GL	SQ	QM	F
<i>Eucalyptus cloeziana</i>					
$f_{\text{máx}}$	Temperatura (A)	2	1029,31	514,65	15,82**
	Tempo (B)	2	178,47	89,24	2,74 ^{ns}
	A x B	4	171,59	42,89	1,32 ^{ns}
	Resíduo	126	4098,87	32,53	
MOR	Temperatura (A)	2	29996,23	14998,12	24,67**
	Tempo (B)	2	4602,69	2301,35	3,78*
	A x B	4	7450,62	1862,65	3,06*
	Resíduo	126	76571,91	60,7,71	
MOE	Temperatura (A)	2	9,00	4,50	0,63 ^{ns}
	Tempo (B)	2	51,91	25,95	3,61*
	A x B	4	27,77	6,94	0,97 ^{ns}
	Resíduo	126	904,36	7,18	
<i>Eucalyptus grandis</i>					
$f_{\text{máx}}$	Temperatura (A)	2	1103,92	551,96	20,32**
	Tempo (B)	2	30,53	15,26	0,56 ^{ns}
	A x B	4	169,69	42,42	1,56 ^{ns}
	Resíduo	126	3422,55	27,16	
MOR	Temperatura (A)	2	19835,53	9917,76	43,55**
	Tempo (B)	2	744,42	372,21	1,63 ^{ns}
	A x B	4	1639,36	409,84	1,79 ^{ns}
	Resíduo	126	28690,84	227,71	
MOE	Temperatura (A)	2	6,32	3,16	1,38 ^{ns}
	Tempo (B)	2	0,96	0,48	0,21 ^{ns}
	A x B	4	57,5	14,38	6,28**
	Resíduo	126	288,18	2,28	

Prop: Propriedade; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; F: F calculado; ^{ns}: Não significativo ao nível de 5% de significância; **Significativo ao nível de 1% de significância. *Significativo ao nível de 5% de significância.

Apêndice 2B – Análise de variância fatorial para a dureza Janka da face tangencial (H_{tang}), radial (H_{rad}) e longitudinal (H_{long}) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretrificada.

Prop.	FV	GL	SQ	QM	F
<i>Eucalyptus cloeziana</i>					
H_{tang}	Temperatura (A)	2	8211,47	4105,73	56,88**
	Tempo (B)	2	492,06	246,03	3,41*
	A x B	4	223,82	55,95	0,77 ^{ns}
	Resíduo	126	9095,03	72,18	
H_{rad}	Temperatura (A)	2	7609,91	3804,95	34,58**
	Tempo (B)	2	420,06	210,03	1,91 ^{ns}
	A x B	4	267,21	66,8	0,61 ^{ns}
	Resíduo	126	13863,69	110,03	
H_{long}	Temperatura (A)	2	9343,26	4671,63	52,16**
	Tempo (B)	2	4513,97	2256,99	25,20**
	A x B	4	2204,87	551,22	6,15**
	Resíduo	126	11284,91	89,56	
<i>Eucalyptus grandis</i>					
H_{tang}	Temperatura (A)	2	931,68	465,84	20,42**
	Tempo (B)	2	582,38	281,19	12,33**
	A x B	4	65,82	16,45	0,72 ^{ns}
	Resíduo	126	2873,94	22,81	
H_{rad}	Temperatura (A)	2	1012,79	506,39	17,02**
	Tempo (B)	2	174,11	87,05	2,92 ^{ns}
	A x B	4	284,61	71,15	2,39 ^{ns}
	Resíduo	126	3748,74	29,75	
H_{long}	Temperatura (A)	2	2110,38	1055,19	24,11**
	Tempo (B)	2	2507,51	1253,75	28,65**
	A x B	4	620,54	155,13	3,54**
	Resíduo	126	5513,22	43,7	

Prop: propriedade; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; F: F calculado; ^{ns}: Não significativo ao nível de 5% de significância; **Significativo ao nível de 1% de significância. *Significativo ao nível de 5% de significância.

Apêndice 2C – Análise de variância geral para a resistência máxima ao impacto ($f_{\text{máx}}$), módulo de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE) pelo teste de Dunnett da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

Prop.	FV	GL	SQ	QM	F
<i>Eucalyptus cloeziana</i>					
$f_{\text{máx}}$	Tratamentos	9	17330,67	1925,63	38,51**
	Resíduo	140	7000,85	50,01	
	Total	149	24331,53		
MOR	Tratamentos	9	48857,29	5428,59	8,97**
	Resíduo	140	84694,85	604,96	
	Total	149	133552,14		
MOE	Tratamentos	9	128,04	14,22	1,85 ^{ns}
	Resíduo	140	1073,69	7,67	
	Total	149	1201,73		
<i>Eucalyptus grandis</i>					
$f_{\text{máx}}$	Tratamentos	9	11854,57	1317,17	48,28**
	Resíduo	140	3819,54	27,28	
	Total	149	15674,11		
MOR	Tratamentos	9	34569,12	3841,01	17,77**
	Resíduo	140	30264,95	216,18	
	Total	149	64834,07		
MOE	Tratamentos	9	71,03	7,89	3,54**
	Resíduo	140	311,56	2,22	
	Total	149	382,59		

Prop: Propriedade; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; F: F calculado; ^{ns}: Não significativo ao nível de 5% de significância; **Significativo ao nível de 1% de significância. *Significativo ao nível de 5% de significância.

Apêndice 2D – Análise de variância geral para dureza Janka da face tangencial (H_{tang}), radial (H_{rad}) e longitudinal (H_{long}) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretificada.

Prop.	FV	GL	SQ	QM	F
<i>Eucalyptus cloeziana</i>					
H_{tang}	Tratamentos	9	14458,79	1606,53	21,88**
	Resíduo	140	10277,34	73,41	
	Total	149	24736,13		
H_{rad}	Tratamentos	9	11688,23	1298,69	11,71**
	Resíduo	140	15529,82	110,93	
	Total	149	27218,05		
H_{long}	Tratamentos	9	25055,68	2783,96	32,29**
	Resíduo	140	12066,93	86,19	
	Total	149	37122,61		
<i>Eucalyptus grandis</i>					
H_{tang}	Tratamentos	9	2076,26	230,69	9,24**
	Resíduo	140	3495,29	24,97	
	Total	149	5571,56		
H_{rad}	Tratamentos	9	1702,37	189,15	6,63**
	Resíduo	140	3990,62	28,51	
	Total	149	5692,99		
H_{long}	Tratamentos	9	7272,20	808,02	19,47**
	Resíduo	140	5809,02	41,49	
	Total	149	13081,22		

Prop: Propriedade; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; F: F calculado; ^{ns}: Não significativo ao nível de 5% de significância; **Significativo ao nível de 1% de significância. *Significativo ao nível de 5% de significância.

Apêndice 3A – Análise de variância fatorial para o parâmetro claridade (L*), coordenadas cromáticas (a*) e (b*), saturação de cor (C*) e ângulo de tinta (h°) da superfície das peças da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretrificada.

Prop.	FV	GL	SQ	QM	F
<i>Eucalyptus cloeziana</i>					
L*	Temperatura (A)	2	5364,32	2682,16	278,08**
	Tempo (B)	2	240,62	120,31	12,47**
	A x B	4	52,35	13,08	1,36 ^{ns}
	Resíduo	45	434,04	9,64	
a*	Temperatura (A)	2	737,91	368,96	231,47**
	Tempo (B)	2	3,68	1,84	1,15 ^{ns}
	A x B	4	36,05	9,01	5,65**
	Resíduo	45	71,73	1,59	
b*	Temperatura (A)	2	3967,51	1983,75	300,73**
	Tempo (B)	2	115,65	57,82	8,76**
	A x B	4	59,09	14,77	2,24 ^{ns}
	Resíduo	45	296,84	6,59	
C*	Temperatura (A)	2	4605,16	2302,58	317,31**
	Tempo (B)	2	105,34	52,67	7,25**
	A x B	4	73,84	18,46	2,54 ^{ns}
	Resíduo	45	326,54	7,25	
h°	Temperatura (A)	2	2519,57	1259,78	236,58**
	Tempo (B)	2	179,13	89,57	16,82**
	A x B	4	47,20	11,80	2,21 ^{ns}
	Resíduo	45	239,62	5,32	
<i>Eucalyptus grandis</i>					
L*	Temperatura (A)	2	3194,50	1597,25	208,10**
	Tempo (B)	2	117,82	58,91	7,67**
	A x B	4	117,31	29,33	3,82**
	Resíduo	45	345,39	7,67	
a*	Temperatura (A)	2	1375,55	687,78	234,35**
	Tempo (B)	2	159,03	79,51	27,09**
	A x B	4	36,32	9,08	3,09*
	Resíduo	45	132,07	2,93	
b*	Temperatura (A)	2	2743,65	1371,82	205,25**
	Tempo (B)	2	100,57	50,28	7,52**
	A x B	4	75,62	18,91	2,82*
	Resíduo	45	300,76	6,68	
C*	Temperatura (A)	2	4092,64	2047,32	236,17**
	Tempo (B)	2	194,33	97,16	11,21**
	A x B	4	25,73	6,43	0,74 ^{ns}
	Resíduo	45	390,10	8,66	
h°	Temperatura (A)	2	259,21	129,61	12,49**
	Tempo (B)	2	27,89	13,94	1,34 ^{ns}
	A x B	4	53,88	13,47	1,29 ^{ns}
	Resíduo	45	467,03	10,38	

Prop: Propriedade; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; F: F calculado; ^{ns}: Não significativo ao nível de 5% de significância; **Significativo ao nível de 1% de significância. *Significativo ao nível de 5% de significância.

Apêndice 3B – Análise de variância fatorial para o parâmetro claridade (L*), coordenadas cromáticas (a*) e (b*), saturação de cor (C*) e ângulo de tinta (h°) do centro das peças da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* termorretrificada.

Prop.	FV	GL	SQ	QM	F
<i>Eucalyptus cloeziana</i>					
L*	Temperatura (A)	2	2206,21	1103,10	83,66**
	Tempo (B)	2	138,47	69,23	5,25**
	A x B	4	493,82	123,45	9,36**
	Resíduo	45	593,33	13,18	
a*	Temperatura (A)	2	360,37	180,18	136,03**
	Tempo (B)	2	9,95	4,97	3,75*
	A x B	4	2,40	0,60	0,45 ^{ns}
	Resíduo	45	59,61	1,32	
b*	Temperatura (A)	2	1540,49	770,24	122,75**
	Tempo (B)	2	34,03	17,01	2,71 ^{ns}
	A x B	4	135,65	33,91	5,40**
	Resíduo	45	282,37	6,27	
C*	Temperatura (A)	2	1900,11	950,05	144,90**
	Tempo (B)	2	26,28	13,14	2,00 ^{ns}
	A x B	4	112,22	28,05	4,28**
	Resíduo	45	295,05	6,56	
h°	Temperatura (A)	2	516,38	258,19	27,76**
	Tempo (B)	2	154,47	77,23	8,30**
	A x B	4	220,63	55,16	5,93**
	Resíduo	45	418,51	9,30	
<i>Eucalyptus grandis</i>					
L*	Temperatura (A)	2	4686,08	2343,04	106,38**
	Tempo (B)	2	0,69	0,35	0,01 ^{ns}
	A x B	4	176,54	44,13	2,00 ^{ns}
	Resíduo	45	991,07	22,02	
a*	Temperatura (A)	2	535,71	267,86	143,62**
	Tempo (B)	2	90,52	45,26	24,27**
	A x B	4	12,45	3,11	1,67 ^{ns}
	Resíduo	45	83,92	1,86	
b*	Temperatura (A)	2	963,59	481,79	65,54**
	Tempo (B)	2	92,08	46,04	6,26**
	A x B	4	36,99	9,25	1,26 ^{ns}
	Resíduo	45	330,79	7,35	
C*	Temperatura (A)	2	1507,73	753,86	98,92**
	Tempo (B)	2	176,90	88,45	11,60**
	A x B	4	42,21	10,55	1,38 ^{ns}
	Resíduo	45	342,94	7,62	
h°	Temperatura (A)	2	23,55	11,78	1,22 ^{ns}
	Tempo (B)	2	14,20	7,10	0,73 ^{ns}
	A x B	4	47,04	11,76	1,21 ^{ns}
	Resíduo	45	435,40	9,67	

Prop: Propriedade; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; F: F calculado; ^{ns}: Não significativo ao nível de 5% de significância; **Significativo ao nível de 1% de significância. *Significativo ao nível de 5% de significância.

Apêndice 3C – Análise de variância geral para os parâmetros colorimétricos pelo teste de Dunnett da superfície das peças de madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

Prop.	FV	GL	SQ	QM	F
<i>Eucalyptus cloeziana</i>					
L*	Tratamento	9	12171,02	1352,33	151,44**
	Resíduo	50	446,48	8,92	
	Total	59	12617,50		
a*	Tratamento	9	787,32	87,48	57,50**
	Resíduo	50	76,07	1,52	
	Total	59	863,39		
b*	Tratamento	9	4282,38	475,82	79,97**
	Resíduo	50	297,47	5,95	
	Total	59	4579,85		
C*	Tratamento	9	4870,19	541,13	82,61**
	Resíduo	50	327,51	6,55	
	Total	59	5197,70		
h°	Tratamento	9	3859,32	428,81	79,45**
	Resíduo	50	269,86	5,39	
	Total	59	4129,17		
<i>Eucalyptus grandis</i>					
L*	Tratamento	9	10661,31	1184,59	153,56**
	Resíduo	50	385,71	7,71	
	Total	59	11047,02		
a*	Tratamento	9	1573,37	174,82	63,87**
	Resíduo	50	136,85	2,73	
	Total	59	1710,22		
b*	Tratamento	9	3320,49	368,94	59,74**
	Resíduo	50	308,78	6,17	
	Total	59	3629,27		
C*	Tratamento	9	4608,00	512,00	63,73**
	Resíduo	50	401,69	8,03	
	Total	59	5009,69		
h°	Tratamento	9	1631,24	181,25	19,14**
	Resíduo	50	473,39	9,47	
	Total	59	2104,63		

Prop: Propriedade; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; F: F calculado; Claridade (L*); Coordenadas cromáticas (a*) e (b*), Saturação de cor (C*); Ângulo de tinta (h°); ns: Não significativo ao nível de 5% de significância; **Significativo ao nível de 1% de significância. *Significativo ao nível de 5% de significância.

Apêndice 3D – Análise de variância geral para os parâmetros colorimétricos pelo teste de Dunnett do centro das peças de madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

Prop.	FV	GL	SQ	QM	F
<i>Eucalyptus cloeziana</i>					
L*	Tratamento	9	10017,79	113,09	91,74**
	Resíduo	50	606,68	12,13	
	Total	59	10624,47		
a*	Tratamento	9	377,95	41,99	32,68**
	Resíduo	50	64,24	1,28	
	Total	59	442,18		
b*	Tratamento	9	1941,36	215,71	37,47**
	Resíduo	50	287,76	5,75	
	Total	59	2229,12		
C*	Tratamento	9	2201,11	244,57	40,44**
	Resíduo	50	302,36	6,05	
	Total	59	2503,47		
h°	Tratamento	9	1872,61	208,07	23,66**
	Resíduo	50	439,64	8,79	
	Total	59	2312,25		
<i>Eucalyptus grandis</i>					
L*	Tratamento	9	9991,46	1110,16	52,84**
	Resíduo	50	1050,47	21,01	
	Total	59	11041,93		
a*	Tratamento	9	639,05	71,01	36,34**
	Resíduo	50	97,69	1,95	
	Total	59	736,74		
b*	Tratamento	9	1274,16	141,57	20,79**
	Resíduo	50	340,43	6,81	
	Total	59	1614,59		
C*	Tratamento	9	1844,42	204,93	28,30**
	Resíduo	50	362,02	7,24	
	Total	59	2206,44		
h°	Tratamento	9	560,44	62,27	6,78**
	Resíduo	50	458,88	9,18	
	Total	59	1019,32		

Prop: Propriedade; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; F: F calculado; Claridade (L*); Coordenadas cromáticas (a*) e (b*), Saturação de cor (C*); Ângulo de tinta (h°); ns: Não significativo ao nível de 5% de significância; **Significativo ao nível de 1% de significância. *Significativo ao nível de 5% de significância.