

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

Fernanda Regina Andrade

**DURABILIDADE DE MADEIRAS DO GÊNERO *Eucalyptus*
TERMORRETIFICADAS EM ÓLEO VEGETAL**

Santa Maria, RS
2019

Fernanda Regina Andrade

**DURABILIDADE DE MADEIRAS DO GÊNERO *Eucalyptus*
TERMORRETIFICADAS EM ÓLEO VEGETAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. Dr. Darci Alberto Gatto

Santa Maria, RS

2019

Andrade, Fernanda Regina
Durabilidade de madeiras do gênero Eucalyptus
termorretrificadas em óleo vegetal / Fernanda Regina
Andrade.- 2019.
77 p.; 30 cm

Orientador: Darci Alberto Gatto
Coorientador: Elio José Santini
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2019

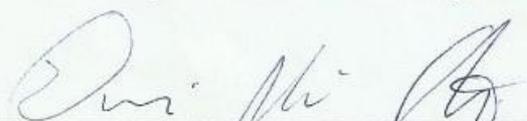
1. Tratamentos térmicos 2. Modificação da madeira 3.
Tecnologia da madeira I. Gatto, Darci Alberto II.
Santini, Elio José III. Título.

Fernanda Regina Andrade

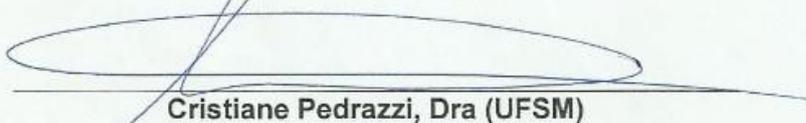
**DURABILIDADE DE MADEIRAS DO GÊNERO *Eucalyptus*
TERMORRETIFICADAS EM ÓLEO VEGETAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Aprovado em 11 de março de 2019



Darci Alberto Gatto, Dr (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Cristiane Pedrazzi, Dra (UFSM)



Magnos Alan Vivian, Dr (UFSC)

Santa Maria, RS

2019

*Aos meus amados pais, Marcia e Jorge,
a minha avó, Silvia
e meus irmãos, Guilherme e Carlos,*

Eu dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, proteção e bênçãos recebidas.

Aos meus pais, Marcia e Jorge, e minha avó Silvia, pelo amor incondicional, apoio e compreensão.

Ao meu irmão, Guilherme, por estar sempre do meu lado, por todo o auxílio, por todo o apoio e compreensão.

A toda minha família, em especial, a minha madrinha Lisete, minhas tias Marlise e Vera, a minha prima Daniela e a minha avó Ilga, pelos aconselhamentos e suporte em toda essa caminhada.

Aos professores Darci Alberto Gatto, Elio José Santini e ao Dr. André Luiz Missio, pela oportunidade, ensinamentos e orientação.

Aos professores Sidinei José Lopes e Byron Flores Somarriba por todo o aprendizado e auxílio na parte estatística.

Aos professores Clóvis Roberto Haselein e Cristiane Pedrazzi por toda a confiança, incentivo e ensinamento desde a graduação.

Aos professores Magnos Alan Vivian e Cristiane Pedrazzi pelo aceite e contribuições na banca.

Aos membros do LPF 88, Anderson, André, Bruna, Camila, Marina, Rodrigo, Carline, Henrique, Ronan, Rossana e Dione pela amizade, companheirismo, troca de conhecimentos, auxílio e suporte.

Aos membros do grupo Ciência da Madeira (UFPeI – Pelotas/RS) pela receptividade, intercâmbio de ideias e auxílio.

Aos técnicos de laboratório Fabiane, Nelson e Tarso pela contribuição no preparo das amostras e manuseio de equipamentos.

Aos meus queridos amigos Álvaro, Joelis, Henrique, Guilherme, Jordana e Saimon, vocês foram uma família nesse período.

Aos meus amigos Franciel e Adelaide, por sempre estarem ao meu lado mesmo não podendo estar perto.

A todos professores, técnicos, familiares e amigos que de alguma forma me acompanharam e ajudaram nessa jornada.

Muito obrigada!

RESUMO

DURABILIDADE DE MADEIRAS DO GÊNERO *Eucalyptus* TERMORRETIFICADAS EM ÓLEO VEGETAL

AUTOR (A): Fernanda Regina Andrade

ORIENTADOR: Darci Alberto Gatto

A presente pesquisa teve por objetivo verificar a eficiência da termorretificação em óleo vegetal na melhoria da durabilidade das madeiras de *Eucalyptus cloesiana* e *Eucalyptus grandis* submetidos a biodegradação em ensaio de apodrecimento a campo. Para tal, foram confeccionados corpos de prova, a partir de cinco árvores de cada espécie. A termorretificação foi realizada em banho de óleo laboratorial a 130°C, 160°C, 190°C e 220°C por 2 e 4 horas. O campo de apodrecimento foi instalado na Universidade Federal de Santa Maria, no município de Santa Maria – RS. Para avaliação foram realizadas coletas a cada três meses no período de 12 meses, totalizando 4 coletas, após cada coleta, os corpos de prova foram dispostos em câmara climatizada até a estabilização da massa. Em seguida foram avaliados Índice de comportamento, perda de massa e foram realizados ensaios mecânicos (Flexão estática), físicos (T_{Ueq} e WRE%) e superficiais (molhabilidade e colorimetria) das madeiras do gênero *Eucalyptus*. A análise estatística foi realizada em arranjo fatorial 9x5, com nove níveis para o fator modificação térmica e 5 níveis para avaliações de campo de apodrecimento (coletas) e teste Kruskal Wallis quando os dados não atingiram os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variância. Os principais resultados mostraram que para o índice de comportamento e perda de massa os tratamentos térmicos se mostraram mais satisfatórios em relação ao tratamento controle, indicando uma maior resistência para a madeira tratada. As propriedades mecânicas, foram pouco alteradas no processo de termorretificação e sofreram menores variações ao longo do tempo de exposição a campo quando comparada a madeira *in natura*. As propriedades físicas melhoraram com a termorretificação e de maneira geral se mostraram mais estáveis durante o tempo de exposição. A coloração da madeira foi alterada tanto pela termorretificação quanto pelo tempo de exposição a campo. O aumento da temperatura tornou a madeira mais escura e diminuiu a variação de cor durante os 360 dias a campo. A molhabilidade aumentou com o tratamento de termorretificação, porém se manteve mais estável durante o período de exposição se mostrando menor ao final dos 360 dias a campo. Portanto, a termorretificação em óleo alterou de forma mais pronunciada as propriedades tecnológicas das madeiras estudadas e foi eficiente na sua manutenção durante o período em campo de apodrecimento. Dessa forma, recomenda-se o uso de madeira termorretificada em óleo (preferencialmente com temperatura de 190°C e 220°C) em ambientes externos e em contato com o solo.

Palavras-chave: Campo de apodrecimento, modificação térmica, propriedades físicas, CIELab, molhabilidade.

ABSTRACT

DURABILITY OF GENDER WOODS *Eucalyptus* TERMORRETIFICATED IN VEGETABLE OIL

AUTHOR: Fernanda Regina Andrade

ADVISOR: Darci Alberto Gatto

The present research had the objective of verifying the efficiency of the thermorectificated in vegetal oil in the improvement of the durability of the wood of *Eucalyptus cloeziana* and *Eucaliptus grandis* submitted to biodegradation in field test. To achieve this, five trees of each species were randomly selected to prepare the samples. The thermorectificated was performed in a laboratory oil bath at 130 ° C, 160 ° C, 190 ° C and 220 ° C for 2 and 4 hours. The field test was installed at the Federal University of Santa Maria, in the municipality of Santa Maria - RS. For the evaluation, samples were collected every three months in the 12-month period, totaling four samples, after each collection, the test specimens were arranged in an air-conditioned room until the mass stabilization. Then, we evaluated the deterioration index, weight loss and mechanical properties (static bending), physical properties (T_{Ueq} and WRE%) and superficial (wettability and colorimetry) tests of the *Eucalyptus* wood. The statistical analysis was performed in a 9x5 factorial arrangement, with nine levels for the thermal treatment factor and five levels for rotting field evaluations (collections) and Kruskal Wallis test when the data did not reach the normality and homogeneity of variance assumptions. The main results show that for the behavior index and weight loss the heat treatments were more satisfactory in relation to the control treatment, indicating a higher resistance to the treated wood. The mechanical properties were slightly altered in the thermal treatment and suffered smaller variations over the time of field exposure when compared to in natura wood. The physical properties were increased with thermal treatment and were generally more stable during the exposure time. The coloring of the wood was altered both by heat treatment and by the time of field exposure. The increase in temperature made the wood darker and decreased the color variation during the 360 days in the field. The wettability increased with the heat treatment, but remained more stable during the exposure period if it was lower at the end of 360 days in the treated woods. Therefore, the heat treatment in oil has more markedly altered the technological properties of the studied wood and was efficient in its maintenance during the period in rotting field. Therefore, it is recommended to use heat-treated wood in oil (preferably with a temperature of 190 ° C and 220 ° C) in outdoor environments and in contact with the soil.

Keywords: Field test, thermal degradation, physical properties, CIELab, wettability.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1. OBJETIVO GERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	12
3. REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1. QUALIDADE DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus</i>	13
3.2. TRATAMENTOS TÉRMICOS DA MADEIRA.....	14
3.2.1. Termorretificação em óleo vegetal	15
3.3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA	16
3.3.1. Influência da termorretificação nas propriedades químicas da madeira. ..	20
3.4. AGENTES DETERIORADORES DA MADEIRA	21
3.4.1. Agentes bióticos	22
3.4.2. Agentes abióticos	23
3.5. ENSAIOS PARA AVALIAR A DURABILIDADE DA MADEIRA.....	24
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1. COLETA E PREPARO DOS MATERIAIS.....	25
4.2. TRATAMENTO DE TERMORRETIFICAÇÃO.....	25
4.3. CAMPO DE APODRECIMENTO	27
4.3.1. Índice de comportamento	27
4.3.2. Perda de Massa (PM)	28
4.4. FLEXÃO ESTÁTICA.....	28
4.5. ENSAIOS FÍSICOS	29
4.5.1. Teor de umidade equilíbrio (T_{Ueq})	29
4.5.2. Eficiência de repelência à água (WRE)	29
4.6. ANÁLISES SUPERFICIAIS	30
4.6.1. Molhabilidade	30
4.6.2. Colorimetria	30
4.7. ANÁLISE DOS DADOS.....	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1. ANÁLISE DE SOLO E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO PERÍODO DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO.....	31
5.2. ÍNDICE DE COMPORTAMENTO	34
5.3. PERDA DE MASSA.....	36
5.4. FLEXÃO ESTÁTICA	39
5.5. PROPRIEDADES FÍSICAS	47
5.5.1. Teor de Umidade de equilíbrio (T_{Ueq})	47
5.5.2. Eficiência de repelência à água (WRE %)	49
5.6. PROPRIEDADES SUPERFICIAIS	51
5.6.1. Molhabilidade	51
5.6.2. Colorimetria	53
6. CONCLUSÕES	62
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
8. APÊNDICES	70

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais renováveis de uso mais antigos do mundo, amplamente utilizada pelo homem por possuir propriedades tecnológicas que favorecem sua utilização em diversas áreas, desde a geração de energia, aquecimento, até a construção civil e indústria moveleira.

Entretanto, como a madeira é um material de origem orgânica, sua utilização a expõe a processos de degradação, com origem química, ambiental ou microbiana. A taxa de deterioração do material depende diretamente do ambiente exato ao qual o material será exposto, sendo dependente de um conjunto de fatores bióticos e abióticos, nos quais estão as condições climáticas, variedade dos organismos decompositores e sua relação com o substrato, e ainda as características físicas e químicas do material a ser decomposto. Entre os materiais biodegradáveis, a madeira é considerada durável em relação à capacidade de manter suas propriedades estruturais sob a ação do intemperismo, embora os ataques de xilófagos devam ser levados em consideração (CADEMARTORI et al., 2014).

A durabilidade natural de uma madeira é dada como a capacidade da mesma de resistir a ação dos agentes responsáveis pela sua degradação, dessa forma, sabe-se que as espécies possuem madeiras com durabilidades diferentes, podendo a resistência a esses agentes se apresentar como alta, média ou baixa (GOMES; FERREIRA 2002).

Diversos métodos foram desenvolvidos ao longo do tempo afim de tornar a madeira mais durável, porém os meios tradicionais de proteção de madeira empregam produtos químicos que são tóxico e podem afetar adversamente a saúde humana e o meio ambiente. Por esse motivo, esforços estão sendo feitos para desenvolver proteção alternativa com métodos baseados em produtos e processos mais naturais, com pouca ou nenhuma toxicidade, porém o progresso para a implementação dessas tecnologias tem sido lenta, devido a certas limitações, incluindo discrepâncias entre o desempenho laboratorial e de campo, a sua variabilidade na eficácia relacionada com a exposição / condições ambientais e dificuldades de legislação devido a divergências sobre o estabelecimento de normas a qualidade de seu desempenho e uso (SINGH; SINGH 2012).

Diante do exposto os tratamentos térmicos podem vir a ser uma ótima alternativa para os tratamentos químicos tradicionais, pois garantem o cuidado com a saúde humana e com o meio ambiente. A termorreificação (tratamento térmico) caracteriza-se como um processo de modificação térmica da madeira, que melhora principalmente as propriedades físicas, biológicas e superficiais do material, podendo, dessa forma, ampliar a utilização que já é dada a madeiras consideradas problemáticas do ponto de vista tecnológico, diversificando-as para outros usos, e ampliando seu potencial econômico (HILL, 2006; ESTEVES; PEREIRA, 2009).

Durante o processo de termorreificação, as principais alterações na madeira ocorrem na faixa de 160 a 260°C (NEJAD et al., 2013). Dessa forma, os óleos vegetais tornam-se atmosferas interessantes para a realização do processo, pois o ponto de fulgor é mais elevado (>200°C) (>200°C) que a temperatura necessária para o tratamento térmico da madeira.

Portanto o presente estudo procurou avaliar a eficácia da termorreificação em óleo vegetal no aumento da durabilidade das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* buscando contribuir para aumentos os conhecimentos e aumentar a gama de aplicações das madeiras estudadas.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente estudo foi verificar a eficiência da termorreificação em óleo vegetal na melhoria da durabilidade das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* submetidos a biodegradação em ensaio de apodrecimento a campo.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Quantificar a alteração na perda de massa da madeira submetida ao ensaio em campo de apodrecimento;

- Quantificar as alterações físicas e superficiais da madeira termorreificada em condições de uso;
- Determinar a alteração do módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOR) da madeira termorreificada através de ensaios de flexão estáticas realizado após os ensaios em campo de apodrecimento;
- Analisar a eficácia da termorreificação em óleo vegetal como preservante em madeiras de *Eucalyptus*.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus*

O Brasil é reconhecido como um dos principais países em termos de área de plantações florestais com espécies de eucaliptos e também como detentor de grande conhecimento científico-tecnológico nas diversas áreas da eucaliptocultura, em razão das pesquisas realizadas principalmente em universidades, institutos de pesquisa e empresas florestais (CABRAL et al., 2015).

Em termos de números de material genético existente a variabilidade do gênero *Eucalyptus* é alta, e esse fato está associado as amplas diferenças tecnológicas da madeira, permitindo dessa forma, que inúmeras aplicações sejam possíveis com essa matéria-prima (ZOBEL; JETT 2012).

Além do material genético, as variações na madeira têm relação com à idade, sítio, espaçamento, nutrição e interações ambientais. Geralmente, as características da madeira tendem a estabilizar com o aumento da idade da árvore (TRUGILHO et al., 2015). Entretanto, a madeira de *Eucalyptus* proveniente das florestas plantadas permanece um tempo relativamente curto no campo, colheita feita antes dos quinze anos, dessa forma, a produção de lenho adulto ainda é pouca, sendo a maior parte da madeira lenho juvenil, e este é responsável pela maioria das características desfavoráveis da mesma, como a elevada retratibilidade, a propensão ao colapso, a presença de altos níveis de tensão de crescimento e uma resistência biológica baixa (LATORRACA; ALBUQUERQUE 2000).

A resistência biológica é imputada à presença de substâncias no lenho, que podem ser tóxicas a xilófagos (FERREIRA et al., 2004). E estas normalmente estão mais presentes no cerne do que no alburno, todavia, existem variações entre as espécies (PAES et al. 2007; PAES et al. 2013). A resistência pode ser dada por apenas um composto químico ou por vários componentes atuando de modo sinérgico, isso varia conforme a espécie (OLIVEIRA et al., 1986).

A madeira do gênero *Eucalyptus* também possui uma baixa permeabilidade, o que resulta em uma deficiente penetração de produtos preservativos além da região periférica da madeira de alburno (VIVIAN et al., 2014). Dessa forma, a aplicação de

processos de termorretificação podem ser aplicados para minimizar o ataque de organismos xilófagos. Os tratamentos térmicos também garantem outros benefícios, como o aumento da estabilidade dimensional, e a diminuição da higroscopicidade (ARAÚJO et al., 2012).

3.2. TRATAMENTOS TÉRMICOS DA MADEIRA

O tratamento térmico da madeira é caracterizado pela utilização de temperaturas entre 180 e 260 °C, que abaixo de 140° C resulta em mudanças insignificantes no material e que quando muito elevadas causam degradações inaceitáveis, principalmente em relação as propriedades mecânicas da madeira (HILL, 2006). O uso de calor para melhorar as propriedades da madeira é uma prática muito antiga, porém os conhecimentos científicos sobre o assunto só começaram a ser desenvolvidos a partir do século XX (DUBEY 2010).

A maioria dos produtos madeireiros que visam a modificação e/ou preservação tem em sua composição elementos muitas vezes tóxicos ao meio ambiente e saúde humana, pois nos tratamentos tradicionais se tem o uso de preservativos, pesticidas, tintas UV absorvente, isto é, alta utilização de produtos químicos tóxicos. Muitos destes tratamentos já estão tendo suas aplicações restringidas em diferentes países devido às leis ambientais (MOHEBBY 2003).

Em muitos países, especialmente na Europa já existem empresas que produzem madeira termorretificada, sendo processadas de diferentes maneiras como: á vácuo, em meios como vapor ou nitrogênio, aquecido sobre os pratos de uma prensa e no óleo, em que a madeira é submetida a uma faixa de temperaturas entre 150°C a 250°C durante um determinado período de tempo, geralmente de 2 a 6 horas, podendo ser submetidas a temperaturas ainda mais altas, dependendo do processo (DUBEY 2010).

Conforme o mesmo autor, a madeira obtém ainda mais qualidade quando a termorretificação é realizada em um ambiente sem a presença de oxigênio, pois a presença de ar resulta em uma maior perda de massa devido a fatores como a oxidação.

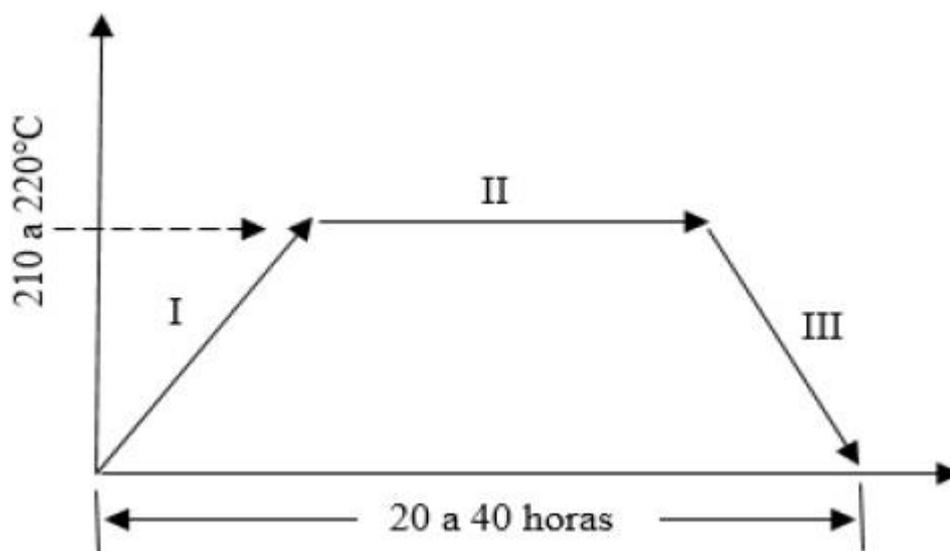
As alterações causadas na madeira pela termorretificação dependem de vários fatores, tais como a espécie em que o tratamento foi aplicado, a temperatura e a duração do tratamento (WINDEISEN et al., 2007). A exposição da madeira à altas temperaturas causa a decomposição parcial das hemiceluloses, região amorfa da celulose, e extrativos influenciando as propriedades químicas, físicas e mecânicas na madeira (ARAÚJO et al., 2012).

3.2.1. Termorretificação em óleo vegetal

A maioria dos tratamentos térmicos é realizada em atmosferas gasosas (LEITHOFF; PEEK 1998). Porém com a temperatura de termorretificação oscilando na faixa de 160°C a 260°C foi possível utilizar óleo vegetal no processo, pois possuem ponto de ebulição superior a 280°C (HILL 2007). O óleo proporciona uma transferência de calor rápida e homogênea para a madeira, permite, dessa forma, que todas as peças tratadas estejam na mesma condição (RAPP; SAILER 2004). Os principais óleos brutos utilizados são os extraíveis de sementes de girassol, colza, linhaça e soja (CONTE 2015).

O processo de termorretificação do óleo já é realizado em escala industrial pela MENZ HOLZ na Alemanha, onde o processo é denominado Oil Heat Treatment-OHT. O método foi desenvolvido em parceria com o Centro Federal de Pesquisa de Florestas e Produtos Florestais em Hamburgo. O procedimento operado pela MENZ OHT® divide-se em três fases, aquecimento, modificação térmica e condicionamento (Figura 1) (MENZ, 2014). Conforme a finalidade da madeira diferentes temperaturas são usadas, para obter a máxima durabilidade e consumo mínimo de óleo o processo é operado entre 210 °C e 220 °C (SAILER et al., 2001).

Figura 1: Etapas do processo MENZ OHT. I = Aquecimento; II = Modificação Térmica; III = Condicionamento.



Fonte: Adaptado de (MENZ, 2014).

Hill (2007) e Menz (2014) citam algumas vantagens da madeira tratada em óleo vegetal, como o aumento da resistência biológica, ausência de produtos químicos, melhoria na estabilidade dimensional e mudanças colorimétricas. Além disso possibilita uma gama de utilizações da madeira em ambientes externos como, decks, janelas, portas externas, mobiliário de jardim, cercas, bancos de saunas e design de embarcações, que ficam expostas rotineiramente a umidade do ar.

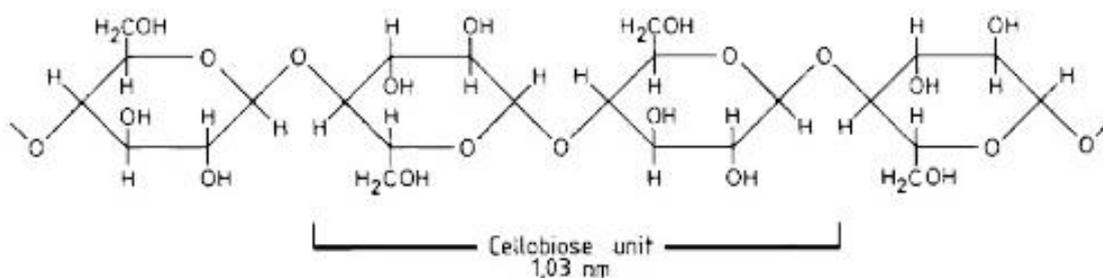
3.3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

A elucidação das propriedades químicas da madeira é importante, pois estão diretamente relacionadas com a durabilidade desse material, uma vez que inúmeras espécies apresentam em sua composição grupos que atuam como preservantes contra a ação de organismos xilófagos, e também conhecer seus constituintes serve para nortear quais deles fornecem alimento para esses organismos e quais seriam os melhores processos para tornar a madeira mais durável (MACHADO, 2016).

A composição química da madeira é basicamente formada por três polímeros: celulose, hemicelulose, lignina e também outros compostos de baixo peso molecular envolvidos no metabolismo da planta, que quimicamente, consistem em extrativos, açúcares, compostos aromáticos, ceras, ácidos graxos e resinas (terpenos, lignanas, estilbenos, flavonoides), entre outros (CARVALHO et al., 2009). As madeiras de folhosas apresentam uma porcentagem de aproximadamente 45% de celulose, 30% de hemicelulose, 20% de lignina e apenas 3% de outros componentes como extrativos (KLOCK et al., 2005)

Celulose é o componente majoritário, perfazendo aproximadamente a metade das madeiras de folhosas e pode ser brevemente caracterizada como um homopolissacarídeo linear constituído unicamente por moléculas de glucose unidas entre si através de ligações glicosídicas do tipo β (1 \rightarrow 4), que resultam da perda de uma molécula de água (KLOCK et al., 2005; FENGEL; WEGENER 2011). Devido a suas propriedades químicas e físicas, bem como à sua estrutura supramolecular, preenche sua função como o principal componente da parede celular dos vegetais (KLOCK et al., 2005).

Figura 2 - Estrutura da parte central da molécula de celulose



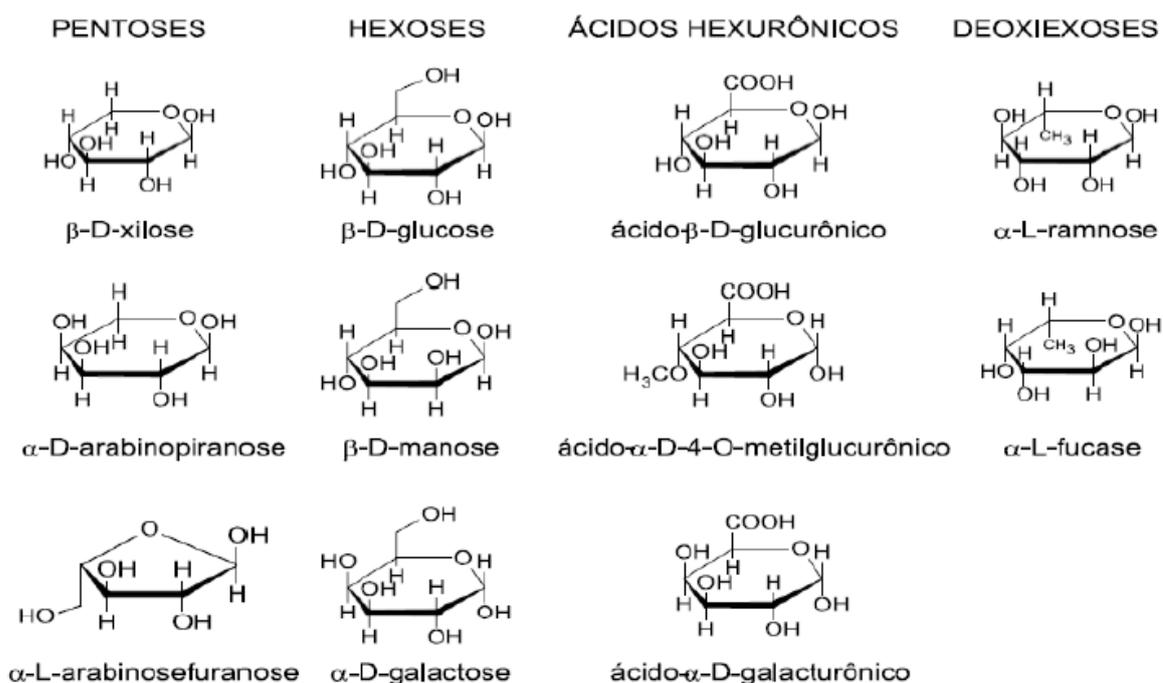
Fonte: Adaptado de (FENGEL; WEGENER 2011).

As hemiceluloses ou polioses como também são chamadas, são o segundo tipo de polissacarídeo mais importante da parede celular e estão em estreita associação com a celulose. Os principais constituintes das hemiceluloses são açúcares neutros como as hexoses: glucoses, manose e galactose; e as pentoses xilose e arabinose, algumas hemiceluloses contém adicionalmente ácidos urônicos (KLOCK et al., 2005). As cadeias moleculares são muito mais curtas que a de

celulose, podendo existir grupos laterais e ramificações em alguns casos. As folhosas, de maneira geral, contém maior teor de polioses que as coníferas, e a composição é diferenciada (KLOCK et al., 2005).

Algumas unidades monoméricas possuem somente cinco átomos de carbono, sendo chamadas de pentoses e outros contam com seis deles, chamados de hexoses, produzindo assim as pentosanas, polímero formado pela condensação de pentoses, e hexosanas, formadas pela condensação das hexoses, que podem ser observadas na Figura 3 (MORAIS et al., 2005)

Figura 3 - Carboidratos que compõem as unidades da hemicelulose.



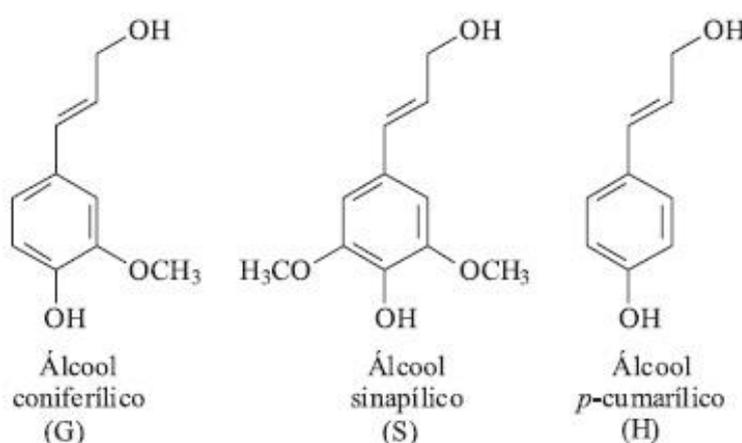
Fonte: Adaptado de (RODRIGUES; CAMARGO 2008).

A lignina é a terceira substância macromolecular da madeira e o segundo material mais abundante no reino vegetal, é uma substância química que confere rigidez à parede celular e atua como um composto de ligação de celulose e polioses, gerando uma estrutura resistente ao impacto, compressão e dobra (MORAIS et al., 2005). As moléculas de lignina têm formação completamente diferente dos demais polissacarídeos da madeira, pois são constituídas por um sistema aromático

composto de unidades de fenilpropano. Há maior teor de lignina em coníferas do que em folhosas, e existem algumas diferenças estruturais entre a lignina encontrada nas coníferas e nas folhosas (KLOCK et al., 2005).

Em geral, a lignina é classificada de acordo com a quantidade relativa dos monômeros guaiacila (G), siringila (S) e p-hidroxifenila (H), derivados dos álcoois coniferílico, sinapílico e p-cumarílico, respectivamente como pode ser observado na Figura 4 (BARBOSA et al., 2008). Enquanto as ligninas de madeiras de coníferas são compostas quase que exclusivamente por unidades guaiacil, sendo denominadas de ligninas tipo G, as ligninas de madeiras de folhosas são mais ricas em unidades siringil, sendo denominadas de ligninas tipo GS (FENGEL; WEGENER 2011).

Figura 4 - Álcoois precursores das unidades fenilpropanóides guaiacila (G), siringila (S) e p-hidroxifenila (H).



Fonte: Adaptado de (Barbosa, Maltha et al. 2008).

Os extrativos representam entre 4 e 10% da massa total da madeira seca, e o seu conteúdo varia muito entre as madeiras, eles são constituintes secundários da madeira, apresentam baixo peso molecular e não fazem parte da estrutura da parede celular (MORAIS et al., 2005).

Os extrativos são compostos químicos da parede celular, geralmente formados por terpenos, fenóis, taninos, graxas, óleos essenciais, corantes, ácidos graxos, álcoois graxos, resinas, ceras, esteroides, entre outros tipos de compostos orgânicos. Alguns são responsáveis pela cor, odor e pela durabilidade da madeira, e como já

indica o nome, podem ser extraídos da madeira por meio de solventes (SANTOS 2008).

Os extrativos normalmente são formados durante a transformação do alburno em cerne, sendo de caráter fenólico e polifenólico, que se acumulam nos lumens e paredes das células, resultando, na maioria das vezes, numa coloração escura do cerne, (SOUZA et al., 2005). A qualidade e a quantidade dos extrativos apresenta grande variação na composição das madeiras, sendo afetados pela espécie, idade de corte e condições de crescimento (Hill 2007).

3.3.1. Influência da termorreificação nas propriedades químicas da madeira.

A composição química da madeira é alterada de acordo com a resistência térmica de cada composto quando exposto a um tratamento de termorreificação, que pode modificar de modo severo e permanente tais propriedades da madeira (ESTEVES; GRAÇA; PEREIRA, 2008). A celulose e a lignina são os componentes que apresentam degradação mais lenta quando expostas a altas temperaturas, as hemiceluloses são mais instáveis. Já os extrativos, apresentam uma fácil degradação, pois seus compostos evaporam da madeira durante a termorreificação (FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION, 2003).

Dentre os constituintes químicos estruturais as hemiceluloses se caracterizam por apresentar pouca estabilidade térmica, sendo degradadas em temperaturas consideradas baixas que podem ser entre 200 e 260°C durante processos de termorreificação (HILL, 2006; FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION, 2003). As hemiceluloses apresentam natureza amorfa em sua estrutura e caracterizam-se como o componente da madeira que possui mais afinidade com a água, conseqüentemente sua degradação aumenta o grau de cristalinidade e diminui a higroscopicidade da madeira (HILL, 2006).

Segundo Fengel e Wegener (2003) a celulose apresenta uma estrutura cristalina altamente ordenada, o que facilita a manutenção de uma ótima estabilidade de suas cadeias. A degradação da celulose ocorre em temperaturas superiores a degradação das hemiceluloses, entretanto algumas evidências mostram que a região

amorfa da celulose apresenta maior suscetibilidade à degradação térmica, e com isso, possuindo provavelmente propriedades térmicas similares às hexoses presentes nas hemiceluloses, entretanto a celulose cristalina apresenta temperatura de degradação em torno de 300 °C (HILL 2006; KIM et al.,2001).

Durante o tratamento de termorretificação há um aumento proporcional no conteúdo de lignina, esse fato ocorre devido a degradação dos outros componentes estruturais da madeira (HILL, 2006). A lignina é o componente da madeira que apresenta a maior resistência térmica (FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION, 2003). Segundo Kim et al (2006) o intervalo de degradação da lignina quando expostas a altas temperaturas é entre 250 e 500°C. As principais modificações da lignina que ocorrem durante os tratamentos térmicos estão relacionadas às mudanças estruturais, reações de condensação e formação de ligações cruzadas (ESTEVES; PEREIRA 2009)

Em contrapartida, a maioria dos extrativos originais desaparecem ao final dos tratamentos de termorretificação, especialmente os compostos mais voláteis como glicerol e ácido oleico (ESTEVES et al., 2008). Entretanto, novos compostos são formados como monossacarídeos e seus produtos de desidratação, tais como ácido siríngico e siringaldeído (ESTEVES; GRAÇA; PEREIRA, 2008). A formação de novos compostos a partir da modificação e/ou degradação de polímeros estruturais juntamente com migração dos extrativos para a superfície da madeira durante os tratamentos térmicos tem como uma de suas principais consequências alterar a coloração da madeira (BEKHTA; NIEMZ, 2003).

3.4. AGENTES DETERIORADORES DA MADEIRA

A madeira, por ser um material de origem orgânica, encontra-se susceptível a ação de agentes deterioradores, que são divididos em dois grupos, os bióticos (vivos) e os abióticos (não vivos), que são capazes de causar alterações na estrutura da madeira atacada (CAVALCANTE 1982). As modificações podem ser expressas desde uma simples variação na cor ou até mesmo na redução das características físicas e mecânicas, comprometendo, assim, o desempenho das peças de madeira (OLIVEIRA et al., 1986).

Para os agentes bióticos a madeira serve como fonte de energia e ou como abrigo, e os danos causados por esses agentes se intensificam com a ação conjunta dos agentes abióticos (físicos e químicos), acelerando o processo de deterioração (VIVIAN et al., 2015).

3.4.1. Agentes bióticos

Os agentes bióticos são conhecidos como xilófagos e se alimentam da madeira de forma direta ou indireta, nesse grupo se encontram os microorganismos (bactérias e fungos), insetos (coleópteros e térmitas) e brocas marinhas (moluscos e crustáceos), eles utilizam a madeira como fonte de energia e conseqüentemente causam sua decomposição (VIVIAN et al., 2014).

Para que esses organismos possam sobreviver e se desenvolver é necessário que tenham condições ambientais favoráveis tais como: oxigênio, temperatura adequada, umidade disponível e fonte de alimento, que neste caso é a madeira. Entretanto os níveis de dependência variam para cada tipo de organismo, e na ausência de um desses fatores não ocorre a biodeterioração (OLIVEIRA et al., 1986).

As bactérias atacam a madeira no estado mais úmido, ou seja, quando a madeira ainda está em forma de toras, recém cortada ou por alguma razão está submersa em água (MORESCHI 2013). Esses agentes geralmente se alimentam dos materiais de reserva existentes nas células parenquimáticas que formam o tecido radial primeiro e, posteriormente, passam a se alimentar das paredes celulares deste tecido e de tecidos vizinhos formados por traqueóides, fibras e vasos, seu ataque se dá de forma mais lenta (RITTER 1990, MORESCHI 2013).

Os fungos são exemplos de xilófagos mais comuns e mais importantes, responsáveis pela maior proporção de danos causados à madeira, podendo decompor totalmente a madeira ou apenas causar manchas, de modo que podem ser classificados como apodrecedores, emboloradores e manchadores (ROCHA 2001).

Os fungos da classe basidiomicetos são alguns dos responsáveis pelo apodrecimento da madeira, na qual se encontram os fungos responsáveis pela podridão parda e branca, que possuem características enzimáticas próprias, quanto à

decomposição dos constituintes primários da madeira. Os primeiros decompõem os polissacarídeos da parede celular, fazendo com que a madeira atacada apresente uma coloração residual pardacenta. Os últimos atacam, indistintamente, tanto os polissacarídeos quanto a lignina, neste caso, a madeira atacada adquire uma coloração mais clara (SOUZA et al., 2005).

Os insetos são uns dos organismos mais fáceis de ser encontrados na terra, sua classe é dividida em 26 ordens, diante disso existe uma grande quantidade de espécies que são capazes de usar a madeira como fonte de alimento ou como abrigo, dos quais tem destaque os térmitas (Isoptera), as abelhas, vespas e formigas (Hymenoptera) e os besouros (Coleoptera) (OLIVEIRA et al., 1986, MENDES; ALVES 1988, MORESCHI 2013). Segundo (Ritter 1990) o ataque de insetos é facilmente visível, e torna possível a identificação do inseto através do dano causado, pois geralmente estes fazem cavidades ou túneis na madeira, onde geralmente contém pó da madeira ou fezes do inseto. Alguns insetos carregam consigo fungos que aceleram a degradação da madeira.

Conhecidos coletivamente como brocas marinhas, os crustáceos e moluscos, são pequenos animais que atacam estruturas de madeiras fixas ou flutuantes que estão em contato com água salgada ou doce, os quais são amplamente distribuídos em todo o mundo e são mais ofensivos em regiões onde a temperatura da água é mais elevada. Os moluscos podem atacar a madeira para utilizar como alimento ou abrigo. Entre os crustáceos destaca-se o gênero *Limnoria*, que pode utilizar a madeira como alimento, abrigo e desova. As madeiras atacadas por brocas marinhas podem ou não apresentar danos visíveis na sua superfície (MENDES; ALVES 1988; MORESCHI 2013).

3.4.2. Agentes abióticos

Ademais dos agentes biológicos os agentes abióticos, que podem ser divididos em físicos, químicos e mecânicos contribuem para a degradação da madeira.

Segundo Oliveira et al., (1986) quando a madeira é exposta a fatores mecânicos, químicos e físicos (luz) e o contato com o solo, ocorre o fenômeno

conhecido como “weathering”, que pode afetar a sua resistência, que se assemelha com o apodrecimento causado por microorganismos.

O fogo é considerado o principal agente físico de destruição, entretanto, sol/radiação ultravioleta, vento, precipitação/chuva/umidade também causam mudanças na composição da madeira; entre os agentes mecânicos estão: rachaduras, abrasão/atrito e desgastes permanentes, principalmente causados por movimentos contínuos, observados com mais frequência em dormentes, escadas, pontes, blocos de madeira usados em pavimentação de cais, etc; a degradação química é causada principalmente quando a madeira entra em contato com substâncias químicas como ácidos e bases fortes, óxido de ferro, dióxido de enxofre, sais de sódio, etc., podendo sofrer, dessa maneira, transformações químicas que poderão reduzir suas propriedades físico-mecânicas (MENDES; ALVES 1988). Os agentes abióticos podem agir em conjunto com os bióticos, de forma a intensificar a deterioração da madeira.

3.5. ENSAIOS PARA AVALIAR A DURABILIDADE DA MADEIRA

A avaliação da durabilidade da madeira pode ser feita através de ensaios de campo e de laboratório. O ensaio de campo é uma condição onde a madeira se encontra exposta as intempéries do ambiente, a uma ampla diversidade de organismos xilófagos, ao solo, a lixiviação, a radiação ultravioleta, trazendo, dessa forma apresenta resultados mais fieis em relação as condições de uso da madeira (COSTA, 1999).

Entretanto, esses ensaios demandam um longo período de exposição, ao contrário do ensaio acelerado de laboratório, que é uma forma mais rápida de e avalia a resistência da madeira quanto a presença de organismos xilófagos dando uma maior importância aos fungos (MENDES; ALVES, 1988). No entanto, os mesmos autores consideram que os ensaios de laboratório não devem ser definitivos, pois são realizados em condições ótimas, sem a presença de agentes físicos e químicos do ambiente externo que ocorrem em condições reais. Dada assim a grande importância dos ensaios de campo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. COLETA E PREPARO DOS MATERIAIS

Foram amostradas ao acaso cinco árvores de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell e cinco árvores *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, procedente de plantios homogêneos da Universidade Federal de Santa Maria (29° 43' 00" S, 53° 43' 18" N a uma altitude de 90 metros) situado no município de Santa Maria, RS.

Após a seleção das árvores, as mesmas foram abatidas e seccionadas a cada 3 metros de comprimento. Utilizou-se a primeira tora (próxima a base) para a confecção dos corpos de prova. Posteriormente as toras foram encaminhadas para o Laboratório de Produtos Florestais onde foram desdobradas em serra fita vertical a fim de obter-se o pranchão central, com 8 cm de espessura, que foram secos ao ar e aplainados para posterior confecção dos corpos de prova.

Foram confeccionados 720 corpos de prova com dimensão de 1 x 1 x 25 cm³ considerando seus três planos anatômicos, radial, tangencial e longitudinal respectivamente, distribuídos entre as duas espécies. Previamente a termorretificação em óleo os corpos de prova foram dispostos em uma estufa de circulação forçada a 103°C até atingirem massa constante. Considerando esse o ponto de partida para a aplicação dos tratamentos de termorretificação.

4.2. TRATAMENTO DE TERMORRETIFICAÇÃO

Os tratamentos de termorretificação foram definidos em função da espécie (*E. cloeziana* e *E. grandis*), temperatura (130°C, 160°C, 190°C e 220°C) e do tempo (2h e 4h) de exposição das amostras com o óleo de soja. Juntamente com os tratamentos controle, realizaram-se 18 tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1 - Tratamentos de termorretificação das espécies *E. cloeziana* e *E. grandis*.

Espécie	Tratamentos	Temperatura em °C	Tempo em horas
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	ECC	-	-
	EC130-2		2
	EC130-4	130	4
	EC160-2		2
	EC160-4	160	4
	EC190-2		2
	EC190-4	190	4
	EC220-2		2
	EC220-4	220	4
<i>Eucalyptus grandis</i>	EGC	-	-
	EG130-2		2
	EG130-4	130	4
	EG160-2		2
	EG160-4	160	4
	EG190-2		2
	EG190-4	190	4
	EG220-2		2
	EG220-4	220	4

Fonte: Autor.

O processo de termorretificação foi executado com auxílio de um banho de óleo laboratorial marca Quimis® modelo Q213-22. Os corpos de prova foram imersos em óleo de soja refinado tipo comercial a temperatura ambiente (aproximadamente 26°C) e o período de termorretificação iniciava no momento em que atingia a temperatura determinada para cada tratamento conforme a Tabela 1. Após o processo de

termorreificação os corpos de prova foram transferidos para uma estufa laboratorial com circulação forçada de ar com a temperatura inicial correspondente a 80% da temperatura do tratamento, que posteriormente foi decrescida até a temperatura de 103°C, permanecendo assim até atingir peso constante.

4.3. CAMPO DE APODRECIMENTO

O campo de apodrecimento foi instalado no Viveiro Florestal da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) (29° 43' 11,4" S, 53° 43' 11,9" N a uma altitude de 90 metros), 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 é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico Arênico (EMBRAPA, 2013).

Foram coletadas amostras de solo para análises físicas e químicas antes da instalação do campo experimental a fim de avaliar possíveis interferências nos resultados de experimento. Além disso, foram levantadas as condições climáticas da região do experimento, coletando-se dados de umidade relativa do ar, temperatura e índices pluviométricos durante o período de execução dos testes; utilizando-se as informações da Estação Experimental de Meteorologia da UFSM.

Os corpos de prova foram dispostos em linha, com espaçamentos de 20 x 20cm, sendo enterrados a 50% de seu comprimento – linha de afloramento (12,5cm). As coletas foram realizadas a cada três meses no período de 12 meses, em cada coleta retirava-se 8 corpos de prova por tratamento, totalizando 144 corpos de prova por coleta.

Para manter uma referência do material tratado e não tratado a mesma quantidade de corpos de prova de uma coleta foi mantida em câmara climatizada (20°C e 65% UR) até atingirem equilíbrio higroscópico com o meio. Em seguida realizamos ensaios mecânicos, físicos e superficiais da madeira do gênero *Eucalyptus*.

4.3.1. Índice de comportamento

Após o campo de apodrecimento os corpos de prova de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* foram submetidos a avaliação do índice de comportamento

segundo a metodologia de Lepage (1970), a qual é um critério subjetivo de avaliação do estado de deterioração das amostras de madeira baseado em notas, de acordo com a tabela 2.

Tabela 2 - Classificação da deterioração da madeira.

Estado de Sanidade	Nota	Índice de Deterioração
Sadio, nenhum ataque	0	100
Ataque leve ou superficial de fungos ou térmitas	1	90
Ataque evidente, mas moderado de fungos e térmitas	2	70
Apodrecimento intenso ou ataque intenso de térmitas	3	40
Quebra, perda quase total de resistência	4	0

Fonte: (Lepage 1970).

4.3.2. Perda de Massa (PM)

Após cada coleta as amostras foram lavadas em água corrente e com o auxílio de um pincel removeu-se o excesso de solo de forma a não interferir na massa final. Com base nos valores de massa inicial e massa final foi calculada a perda de massa (Equação 1).

$$PM = \frac{M_i - M_f}{M_i} * 100 \quad \text{Equação 1.}$$

PM = Perda de Massa (%); M_i = massa seca inicial (antes da exposição a campo); M_f = massa seca final (após a exposição a campo).

4.4. FLEXÃO ESTÁTICA

Para o procedimento de flexão estática utilizou-se uma máquina universal de ensaios EMIC® - DL 2000 com capacidade de 20kN. Devido a redução dos corpos de

prova de flexão estática para 1x1x25cm³, foi necessário adaptar a norma ASTM D143-94 (ASTM, 2000). Assim, fixou-se o vão de 14 vezes a altura e a velocidade do ensaio para 0,52mm/min.. Diante disso, foram obtidos o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) dos corpos de prova.

4.5. ENSAIOS FÍSICOS

Para os ensaios físicos foram utilizados corpos de prova com as dimensões de 1 x 1 x 5 cm³, oriundos das amostras originais de flexão estática, confeccionados após a realização do ensaio mecânico.

4.5.1. Teor de umidade equilíbrio (TUEq)

A determinação do TUEq foi calculada conforme a norma ASTM D143-94 (ASTM, 2000), através da Equação 2. Em que, os corpos de prova climatizados (20°C e 65%) foram pesados e encaminhados para uma estufa de circulação forçada a 103°C até atingirem massa constante, em que, novamente foram pesados.

$$TUEq = \frac{M_{\text{clim}} - M_{\text{seca}}}{M_{\text{seca}}} * 100 \quad \text{Equação 2.}$$

Em que: TUEq = 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.

4.5.2. Eficiência de repelência à água (WRE)

Através dos valores da absorção em água (AA) dos corpos de prova controle e termorretrificados submetidos ao campo, calculamos a WRE pela equação 3.

$$WRE = \frac{AA_{\text{cont}} - AA_{\text{term}}}{AA_{\text{cont}}} * 100 \quad \text{Equação 3}$$

Onde: WRE = Efetividade de repelência à água, (%); AA cont = absorção em água das amostras controle, (%); AA term = Absorção em água das amostras termorretrificadas submetidas ao ensaio de campo (%).

4.6. ANALISES SUPERFICIAIS

4.6.1. Molhabilidade

As medidas do ângulo de contato foram realizadas em um goniômetro. Para a realização das medidas utilizamos água deionizada sendo que o volume da gota formada sobre a superfície da amostra foi 5 µL. Foram feitas 8 oito medidas em cada tratamento (MISSIO 2014).

4.6.2. Colorimetria

As análises colorimétricas foram realizadas no espaço de cor CIE-L*a*b, para tal foi utilizado um colorímetro portátil Konica Minolta, modelo CR-410.

Foram realizadas medições colorimétricas em todos os corpos de prova. Os parâmetros analisados foram: claridade L* (preto, 0 – branco, 100), coordenada cromática a* (+ vermelho, - verde), coordenada cromática b* (+ amarelo, - azul). Calculamos variação de cor (ΔE) conforme a Equação 4.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Equação 4.}$$

ΔE = variação de cor; ΔL^* = variação dos parâmetros de claridade; Δa^* = variação da coordenada cromática vermelho – verde; Δb^* = variação da coordenada cromática amarelo – azul. Variação dos parâmetros entre corpos de prova termorretrificados e os submetidos ao ensaio de campo com relação as amostras controle.

4.7. ANÁLISE DOS DADOS

O experimento foi instalado utilizando o delineamento inteiramente casualizado (DIC), em arranjo bifatorial (9x5), apresentando nove níveis para o fator termorreificação (modificação térmica), e 5 níveis para o fator coleta (tempo de exposição em campo de apodrecimento). Não era o objetivo do trabalho comparar as espécies, portanto as duas espécies foram analisadas separadamente.

Para a análise estatística, primeiramente foram verificados os dados quanto a normalidade e homogeneidade de variância, pressupostos para os testes paramétricos. Em caso de rejeição da hipótese nula procedeu-se com a análise de variância (ANOVA) e quando do aceite da hipótese nula realizou-se o resumo estatístico através da média e desvio padrão.

Na análise de variância fatorial foi verificada, inicialmente, a existência de interação entre os fatores temperatura e tempo (A x B), por meio da comparação de médias pelo teste F com 5% de probabilidade de erro. Na existência de interação entre os fatores ($p < 0,05$), procedeu-se com o desdobramento da interação, por meio da análise de regressão do fator Coleta dentro dos níveis do fator termorreificação. Quando a interação não foi significativa ($p < 0,05$), os fatores agem de forma independente e foram analisados de forma isolada por meio do teste de médias de Scott-Knott em 5% de probabilidade de erro.

Nos casos em que a hipótese nula dos pressupostos de normalidade e homogeneidade de variância foi aceita procedeu-se a análise dos dados com o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis analisando os fatores de forma separada, e na existência de diferença significativa ($p < 0,05$) realizou-se o teste de comparação pareada de Nemenyi em 5% de probabilidade de erro a fim de descobrir quais pares das amostras são significativamente diferentes.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ANÁLISE DE SOLO E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO PERÍODO DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO

Com base no laudo de análise do solo coletado no local onde foi instalado o campo de apodrecimento, fornecido pelo departamento de solos da UFSM (Apêndice A), é possível observar um pH de 5,3 e um percentual de matéria orgânica e de argila de 1,9% e 38% respectivamente.

Conforme Morselli (2009), a fauna edáfica é mais abundante em solos com o pH entre 5,5 e 8,3. A matéria orgânica também afeta diretamente a diversidade microbiana do solo atuando na disponibilidade de nutrientes para os microrganismos e plantas, além de regular a ciclagem de carbono e sua estabilização (RASCHE; CADISCH, 2013).

Fatores abióticos como atmosfera, temperatura e precipitação tem grande importância para a diversidade microbiana e conseqüentemente na determinação de micro-organismos que atuam na degradação da madeira (OLIVEIRA et al., 1986; CARDOSO et al., 1992).

Nas Tabelas 3 e 4 é possível observar as condições climáticas da região onde o campo de apodrecimento foi implantado. A Tabela 3 mostra as condições climáticas normais de temperatura, precipitação e umidade relativa do ar, obtidas com base em 30 anos de observação (1981-2010) de acordo com os dados da Estação Meteorológica da UFSM fornecidos pelo INMET.

Tabela 3 - Normais Climatológicas do local de realização do ensaio, média de 30 anos (1981-2010). Fonte: Estação Meteorológica da UFSM (INMET).

Mês	Temperatura Média (°C)	Precipitação Total (mm)	Umidade Relativa Média (%)
Janeiro	24,9	166,3	72,3
Fevereiro	24	139,6	76,8
Março	22,9	127,7	78,5
Abril	19,4	170,1	81,3
Mai	16	154,4	83,3
Junho	14,2	149,1	83,7
Julho	13,4	159	81,8
Agosto	15,1	111,2	78,9

Setembro	16,4	158,5	78,5
Outubro	19,4	173,3	76,3
Novembro	21,6	132,7	70,6
Dezembro	24,1	154,3	68,7

Na tabela 4 encontram-se as variáveis observadas no período de execução do estudo de campo com as médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar e a precipitação total mensal.

Podemos observar que os níveis pluviométricos dos meses de março, junho, setembro, outubro e dezembro foram consideravelmente maiores do que a média normal da região esperada para esse período, tendo destaque o mês de dezembro de 2014, em que a precipitação normal seria 154,3 mm para esse período, e tivemos um total de precipitação de 324,3mm. O mês de novembro, por outro lado, apresentou uma precipitação abaixo da esperada. Nesse processo a água influencia diretamente a atividade biológica que ocorre nos solos, participando na motilidade microbiana, influenciando a determinação dos valores de pH, além de estar relacionada com a temperatura e a aeração (CARDOSO et al., 1992).

Tabela 4 - Condições Climáticas do período de realização do ensaio, ano 2014.
Fonte: Estação Meteorológica da UFSM (INMET).

Mês	Temperatura Média (°C)	Precipitação Total (mm)	Umidade Relativa Média (%)
Dezembro (2013)	25,5	92,8	70,1
Janeiro	26,1	132,3	78,4
Fevereiro	25,4	109	78,3
Março	21,9	226,9	81,0
Abril	19,9	105,1	82,1
Maio	15,5	171,5	89,2
Junho	13,8	278,8	90,3
Julho	15,1	255,1	83,8
Agosto	16,0	92,2	78,3

Setembro	18,5	237,5	81,7
Outubro	21,5	256,8	77,2
Novembro	23,1	59,7	69,5
Dezembro	24,1	324,3	75,5

Os valores das médias de temperatura e umidade relativa do ar foram próximas as médias relatadas com base nos anos anteriores, sem grandes alterações. Segundo Oliveira et al. (1986), temperaturas entre 5 e 65°C permitem o desenvolvimento de micro-organismos, porém são poucos que se desenvolvem com temperaturas acima de 35 ou 40°C. Diferentes espécies de organismos apresentam tolerância a diferentes pontos ótimos de temperatura e esse fator pode influenciar a composição das espécies de organismos que colonizam o material nas suas diferentes fases da decomposição. As variações sazonais de temperatura e umidade implicam na ocorrência de ciclos de seca/umidade (em alguns casos congelamento e aquecimento) ajudam a liberar substratos das superfícies das argilas ou de células mortas, estimulando a atividade metabólica como um todo (CARDOSO et al., 1992).

5.2. ÍNDICE DE COMPORTAMENTO

O índice de comportamento (IC) da madeira de *Eucalyptus cloeziana*, não apresentou interação entre os tratamentos de termorretificação e as avaliações em campo de apodrecimento (apêndice B), dessa forma, teve os fatores avaliados separadamente. Já o *Eucalyptus grandis* apresentou interação entre os fatores.

De acordo com a tabela 5 verifica-se que os índices de comportamento mais altos, que representam maior expectativa de durabilidade, correspondem as madeiras submetidas aos tratamentos térmicos, com destaque para as termorretificações nas temperaturas de 190°C e 220°C. Entretanto, mesmo as amostras não termorretificadas apresentam índices de comportamento considerados satisfatórios.

O fato de as madeiras termorretificadas em temperaturas mais elevadas apresentarem melhores resultado de IC corrobora com o objetivo do tratamento

térmico que é conferir maior resistência biológica a organismos xilófagos e coincide com o relatado por Momohara et al., (2003). Vivian et al., (2014) os quais encontraram resultados semelhantes para madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* tratadas com CCA e expostas em campo de apodrecimento em floresta e campo aberto.

Tabela 5 - Médias das coletas de campo com modelos gerados através da análise de regressão do fator coletas dentro do fator tratamentos com seus devidos coeficientes de determinação (R^2) do índice de comportamento para o *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

Índice de Comportamento <i>Eucalyptus cloeziana</i>								
	0 Dias	90 Dias	180 Dias	270 Dias	360 Dias	Total	Modelo	R^2
ECC	100	91	87	91	83	91 ^b	$y = -0,0387x + 97,429$	0,726
EC130-2	100	90	91	89	96	93 ^b	$y = -0,0097x + 95$	0,086
EC130-4	100	95	95	96	96	97 ^a	$y = -0,0069x + 97,75$	0,232
EC160-2	100	96	94	93	90	95 ^b	$y = -0,0264x + 99,25$	0,970
EC160-4	100	94	94	95	94	95 ^a	$y = -0,0125x + 97,5$	0,431
EC190-2	100	98	96	95	96	97 ^a	$y = -0,0111x + 99$	0,696
EC190-4	100	96	96	94	91	96 ^a	$y = -0,0218x + 99,464$	0,941
EC220-2	100	99	99	95	98	98 ^a	$y = -0,0097x + 99,75$	0,533
EC220-4	100	100	96	99	98	98 ^a	$y = -0,0071x + 99,75$	0,391

Índice de Comportamento <i>Eucalyptus grandis</i>								
	0 Dias	90 Dias	180 Dias	270 Dias	360 Dias	Total	Modelo	R^2
EGC	100	90	79	74	75	82	$y = -0,0736x + 96,75$	0,870
EG130-2	100	60	93	88	83	88	$y = -0,0083x + 86,071$	0,006
EG130-4	100	93	90	91	86	92	$y = -0,0319x + 97,75$	0,811
EG160-2	100	90	93	78	89	90	$y = -0,0389x + 96,75$	0,465
EG160-4	100	96	95	78	91	93	$y = -0,039x + 99,214$	0,442
EG190-2	100	94	94	86	86	92	$y = -0,0389x + 99$	0,899
EG190-4	100	95	93	93	87	94	$y = -0,0304x + 99,071$	0,873
EG220-2	100	96	96	87	97	96	$y = -0,017x + 98,271$	0,231
EG220-4	100	98	97	98	95	97	$y = -0,0111x + 99,333$	0,766

Fonte: Autor (a).

As madeiras de ambas espécies apresentaram de maneira geral a tendência de diminuir o IC ao longo do tempo de exposição a campo, porém esporadicamente observou-se valores que diminuíram bruscamente nas primeiras coletas e posteriormente passaram a apresentar novamente valores mais altos, caso dos tratamentos EC130-2 que apresentou um IC de 60 aos 90 dias de exposição e aos

180 dias passou a apresentar um IC de 93. Esse resultado pode estar relacionado com o clima nos primeiros 90 dias de avaliação, em que se observa altos índices de precipitação e temperaturas mais elevadas, condições essas favoráveis para o desenvolvimento de organismos xilófagos.

Esse fato pode ter interferido no modelo linear gerado por regressão que apresentou um coeficiente de determinação de 0,006, considerado muito baixo e não permitindo dessa forma a sua utilização. A maioria dos demais modelos apresentaram coeficientes de determinação aceitáveis.

Outro fato observado foi a alteração de cor das amostras, que apresentaram aspecto envelhecido. Esse efeito também foi observado nos trabalhos de Vivian et al., (2014) e Trevisan et al., (2008). O último autor justifica essa observação pela atuação da degradação fotoquímica, pois a intensidade solar em ambiente sem a presença de árvores é alta com incidência da radiação ultravioleta direta. Segundo Oliveira et al., (1986) a degradação fotoquímica provocada pela radiação ultravioleta, atua, principalmente, sobre a lignina, ocasionando efeitos perceptíveis na alteração da cor da madeira.

Para Melo et al. (2010) a análise subjetiva atribuída por notas é o principal parâmetro para avaliação da durabilidade de madeiras em ensaios de campo de apodrecimento, porém é importante vincular essa análise com um segundo parâmetro, como perda de massa ou propriedades mecânicas, para dessa forma haver uma caracterização mais segura com minimização das superestimativas e subestimativas dos valores que podem ocorrer na análise visual.

5.3. PERDA DE MASSA

As interações entre os fatores tratamentos térmicos e avaliações em campo de apodrecimento foram significativas para a variável perda de massa nas madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*. De acordo com a Tabela 6, verifica-se que a perda de massa para as madeiras das duas espécies estudadas aumentou em função do tempo de exposição da madeira em campo de apodrecimento. A madeira de *Eucalyptus cloeziana* apresentou maior porcentagem de perda de massa na

madeira não tratada e no tratamento EC130-2 chegando a 5,12% aos 270 dias de exposição em campo para o ECC. Os demais tratamentos apresentaram menores porcentagens de perda de massa, tendo o tratamento EC220-4 atingido 1,25% ao final de 360 dias de avaliação.

Tabela 6 - Médias das coletas de campo com modelos gerados através da análise de regressão do fator coletas dentro do fator tratamentos com seus devidos coeficientes de determinação (R^2) da perda de massa para o *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

Perda de Massa (%) <i>Eucalyptus cloeziana</i>							
	90 Dias	180 Dias	270 Dias	360 Dias	Total	Modelo	R^2
ECC	1,59	1,88	5,12	3,85	2,76	$y = 0,0111x + 0,6063$	0,597
EC130-2	1,70	2,97	4,04	4,36	3,23	$y = 0,0101x + 0,9962$	0,945
EC130-4	1,57	1,82	2,06	3,00	2,08	$y = 0,005x + 0,9816$	0,874
EC160-2	1,18	2,31	2,84	3,15	2,32	$y = 0,0072x + 0,759$	0,921
EC160-4	1,36	1,53	2,19	3,01	2,04	$y = 0,0062x + 0,6222$	0,935
EC190-2	0,96	1,53	2,02	2,54	1,73	$y = 0,0058x + 0,4569$	0,999
EC190-4	0,85	1,21	1,87	3,04	1,61	$y = 0,008x - 0,0616$	0,940
EC220-2	0,79	0,88	0,93	1,45	1,00	$y = 0,0022x + 0,5062$	0,778
EC220-4	0,49	0,61	0,64	1,25	0,73	$y = 0,0026x + 0,1746$	0,769

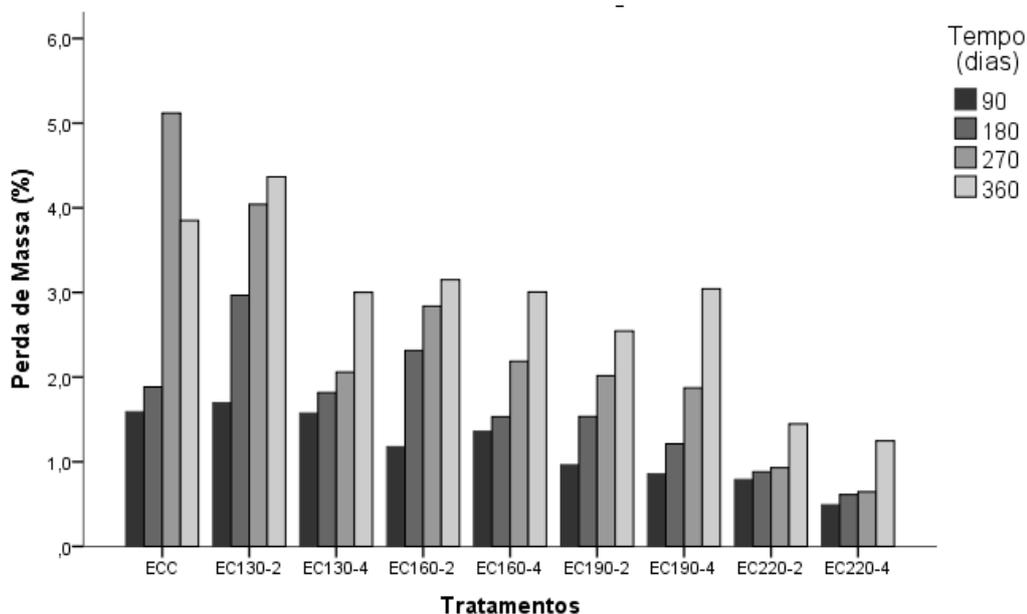
Perda de Massa (%) <i>Eucalyptus grandis</i>							
	90 Dias	180 Dias	270 Dias	360 Dias	Total	Modelo	R^2
EGC	2,30	2,44	6,22	5,13	4,11	$y = 0,0136x + 0,9564$	0,652
EG130-2	1,77	2,27	3,26	4,33	2,55	$y = 0,0096x + 0,7424$	0,977
EG130-4	1,82	1,53	3,92	4,18	2,91	$y = 0,0105x + 0,4924$	0,784
EG160-2	1,80	2,85	4,40	4,84	3,25	$y = 0,0119x + 0,8012$	0,962
EG160-4	1,41	2,12	2,88	3,90	2,54	$y = 0,0092x + 0,5177$	0,992
EG190-2	1,13	1,52	3,02	2,49	2,01	$y = 0,0062x + 0,6434$	0,691
EG190-4	0,89	1,85	2,19	2,14	1,76	$y = 0,0045x + 0,7438$	0,770
EG220-2	1,33	2,04	2,05	1,72	1,74	$y = 0,0013x + 1,495$	0,195
EG220-4	0,73	0,85	0,87	1,14	0,88	$y = 0,0014x + 0,5859$	0,878

Fonte: Autora

A madeira de *Eucalyptus grandis* seguiu a mesma tendência do *Eucalyptus cloeziana*, apresentando menores resultados e maior estabilidade na perda de massa nos tratamentos térmicos mais severos, apresentando valor de 1,14% na avaliação de 360 dias a campo, no tratamento EG220-4 como podemos observar nas Figuras 5

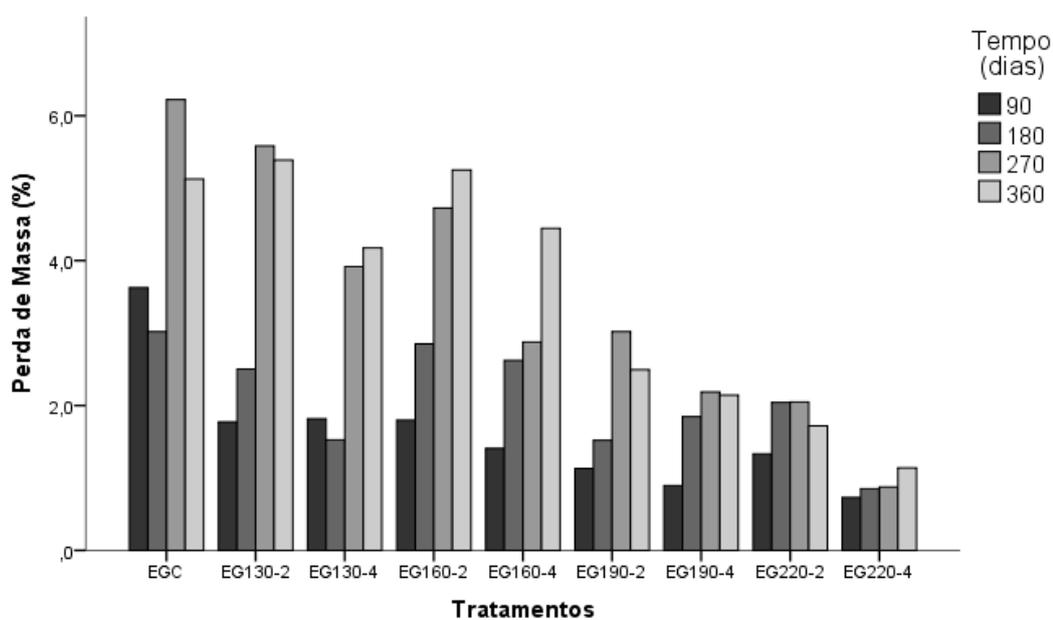
e 6. Os valores de perda de massa corroboram com os encontrados os encontrados para o IC sugerindo uma relação entre os dois resultados.

Figura 5 - Perda de Massa do *Eucalyptus Cloeziana*



Fonte: Autora.

Figura 6 - Perda de Massa *Eucalyptus grandis*.



Fonte: Autora.

Segundo a American Society for Testing and Materials (2005), as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e de *Eucalyptus grandis* podem ser classificadas como altamente resistentes à deterioração, pois a perda de massa foi inferior a 10% durante o período analisado.

Resultados semelhantes foram encontrados por Vivian et al. (2015) em madeira de *E. cloeziana* e *E. grandis* tratadas com CCA e expostas em campo da apodrecimento para a maioria dos tratamentos. Os autores relataram resultados de perda de massa para a madeira tratada que variaram de 0,74% a 4,10% para o *E. grandis* e 1,15 a 3,75 para o *E. cloeziana* no período de doze meses o que evidencia que os tratamentos EC220-4 e o EG220-4 apresentaram valores menores de perda de massa indicando que os tratamentos de termorreificação foram efetivos para esse parâmetro.

Na Tabela 6 também podem ser observadas as equações lineares ajustadas para estimativa da PM da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*, em função do número de dias em que as amostras permaneceram instaladas em campo de apodrecimento. Os modelos, de maneira geral, apresentaram bons coeficientes de determinação, admitindo, dessa forma, ser utilizados como método confiável para estimativa da PM a partir do número de dias de exposição a campo. Apenas o EG220-2 apresentou um R^2 muito baixo, inviabilizando a utilização do modelo.

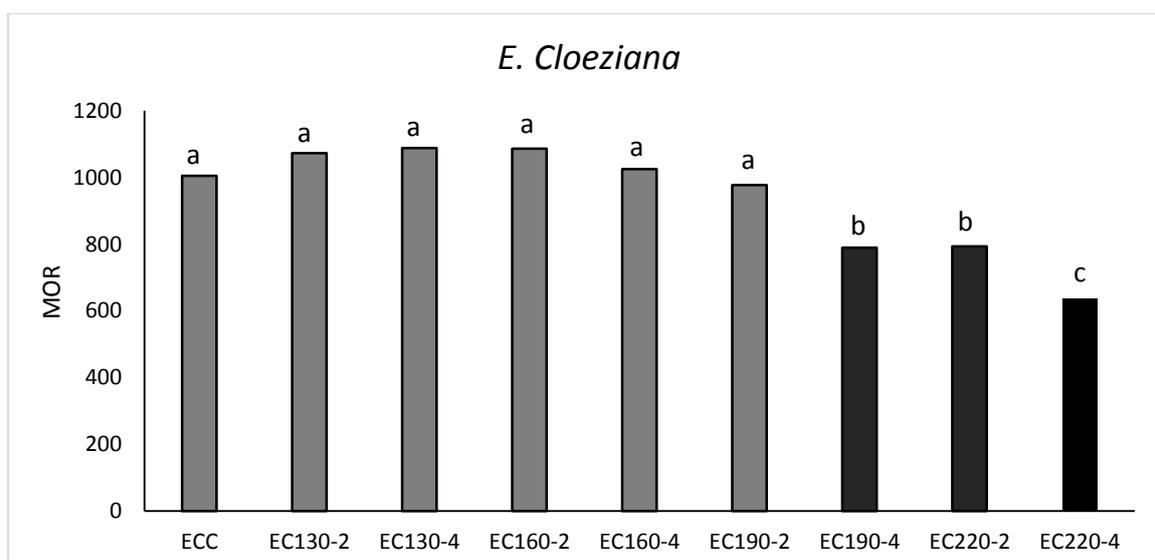
5.4. FLEXÃO ESTÁTICA

Por meio da ANOVA fatorial (Apêndice D) constatou-se que as propriedades de MOR e MOE para *Eucalyptus Cloeziana* e *Eucalyptus grandis* não apresentaram interação significativa entre os fatores Termorreificação e Coletas, portanto os fatores foram analisados isoladamente. Entretanto, em ambas as espécies os fatores apresentaram diferença significativa.

O Módulo de Ruptura (MOR) decresceu para os tratamentos mais severos de termorreificação do *E. Cloeziana* (EC 190-2, EC190-4, EC220-2, EC200-4) atingindo um decréscimo de 36,7% para o tratamento EC200-4 em relação ao tratamento

controle. Contudo, houve acréscimos do MOR nos tratamentos EC 130-2, EC130-4, EC160-2 e EC160-4, sendo o tratamento EC130-4 o que apresentou o aumento mais visível, de 8,3%, como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 – Comparação de médias pelo teste Scott-Knott para o módulo de ruptura (MOR) da madeira de *Eucalyptus Cloeziana*. Colunas seguidas de letras iguais não apresentaram diferença significativa.



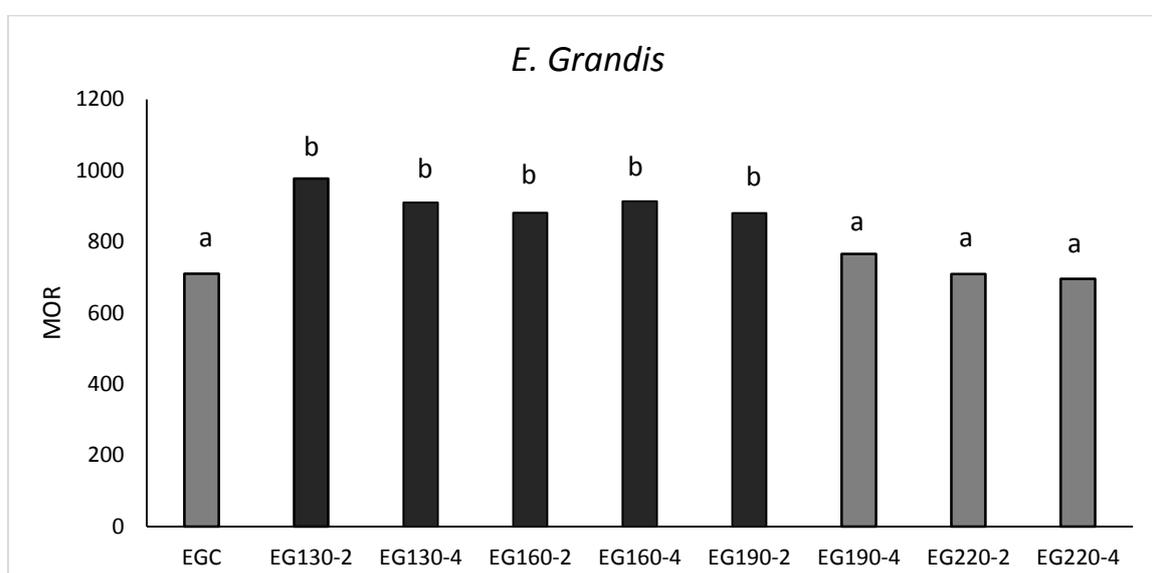
Em que: Barras com letras iguais não possuem diferença estatística, segundo teste de Scott-Knott em 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autor (a).

Na madeira de *Eucalyptus Grandis* observou-se a mesma tendência da madeira do *Eucalyptus Cloeziana*, verificando-se reduções nos tratamentos com a temperatura mais elevada sendo 0,2 e 2% para EG220-2 e EG220-4 respectivamente, não apresentando dessa forma diferença significativa com o tratamento controle. O restante dos tratamentos apresentou incrementos no MOR chegando a 37,6; 28,1 e 28,6% para os tratamentos EG130-2, EG130-4 e EG160-4 respectivamente em relação ao tratamento controle (EGC) (Figura 8). Para Srinivas e Pandey (2012) a alta temperatura (225°C) e um tempo mais longo de tratamento térmico propiciaram uma redução mais acentuada no MOR das madeiras de *Hevea brasiliensis* e *Grevillea robusta*.

Segundo Hill (2006) as alterações na resistência mecânica da madeira termorretrificada estão relacionadas à modificação de seus componentes químicos,

pois durante o processo de termorretificação a temperatura age modificando os componentes químicos estruturais da madeira, ou seja, altera os polímeros constituintes da parede celular por meio de reação de despolimerização e degradação das hemiceluloses. Fato esse corroborado por Calonego et al., (2012) e Kačíková et al., (2013) que descreveram a redução das hemiceluloses em função do aumento da temperatura e sua relação com a diminuição do MOR.

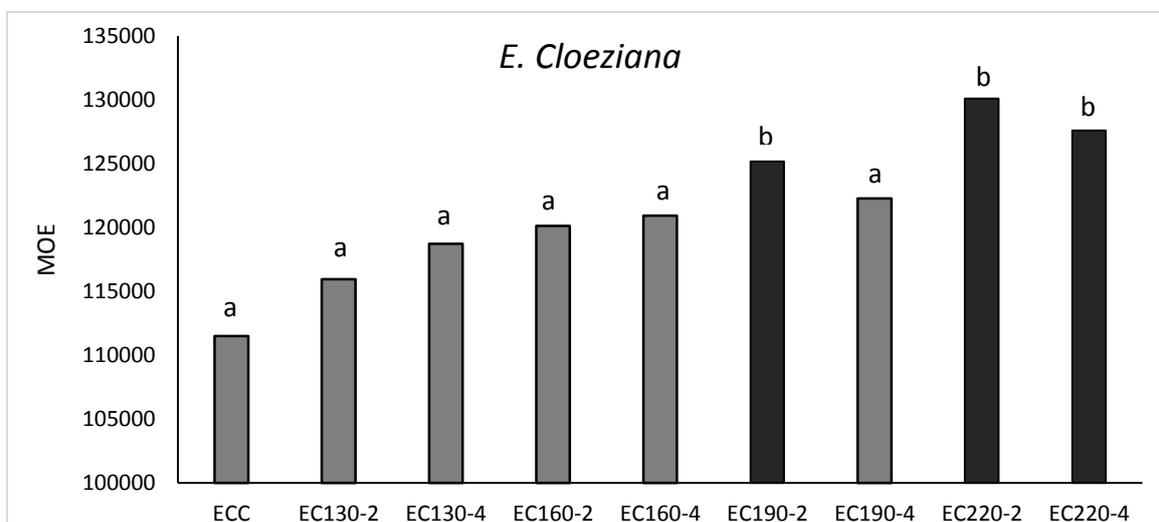
Figura 8 – Comparação de médias pelo teste Scott-Knott para o módulo de ruptura (MOR) da madeira de *Eucalyptus Grandis*.



Em que: Barras com letras iguais não possuem diferença estatística, segundo teste de Scott-Knott em 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autor (a).

O MOE apresentou acréscimos em todos os tratamentos térmicos, variando de 3,9 % (EG130-2) a 16,6% (EG220-2) para o *Eucalyptus Cloeziana*. Para o *Eucalyptus Grandis* a variação foi superior, pois atingiu um acréscimo de 50,5% para o tratamento EG220-2, o acréscimo mais brando foi o do tratamento EG130-4 de 27,9% (Figuras 9 e 10).

Figura 9 - Comparação de médias pelo teste Scott-Knott para o módulo de ruptura (MOE) da madeira de *Eucalyptus Cloeziana*. Colunas seguidas de letras iguais não apresentaram diferença significativa.

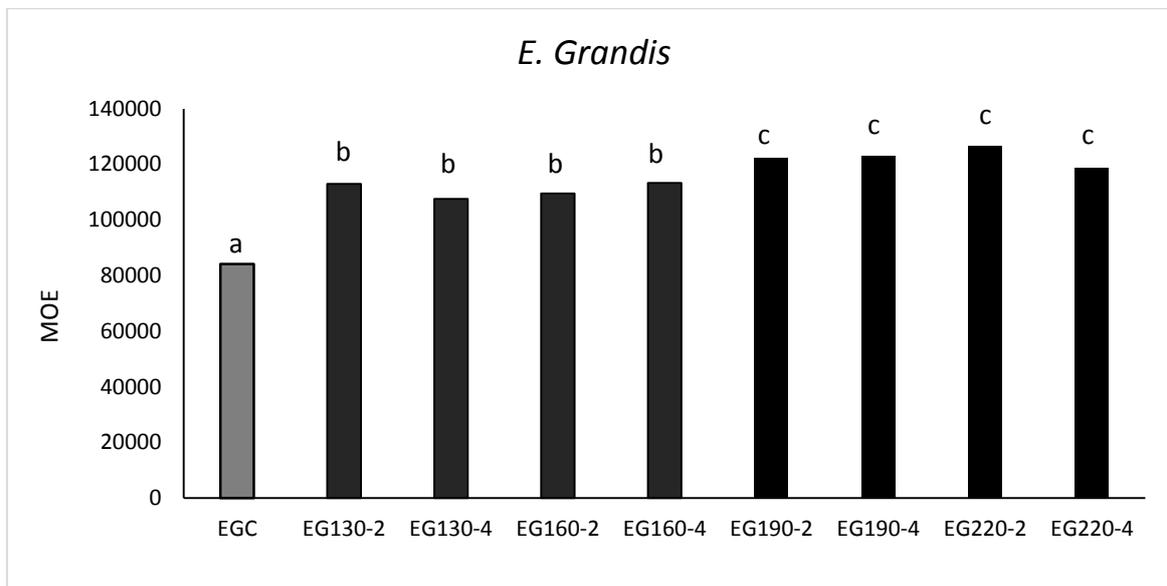


Em que: Barras com letras iguais não possuem diferença estatística, segundo teste de Scott-Knott em 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autor (a).

Calonego et al., (2012) também evidenciaram o acréscimo do MOE nas temperaturas de 140°C a 200°C para a madeira de *Eucalyptus grandis*, porém na condição de 220°C foi relatado um decréscimo do MOE. Segundo Esteves e Pereira (2008), o módulo de elasticidade tende a aumentar para tratamentos térmicos mais suaves e diminuir para tratamentos mais severos.

O acréscimo geral do módulo de elasticidade pode estar relacionado ao aumento proporcional da celulose cristalina, que por sua vez confere mais rigidez a madeira, causado pelo efeito da temperatura durante o tratamento térmico (YILDIZ; GÜMÜŞKAYA, 2007). Segundo Pandey (1999) e Calonego et al. (2012) a celulose cristalina é o principal polímero responsável pela resistência da madeira, devido ao seu alto grau de polimerização e cristalinidade.

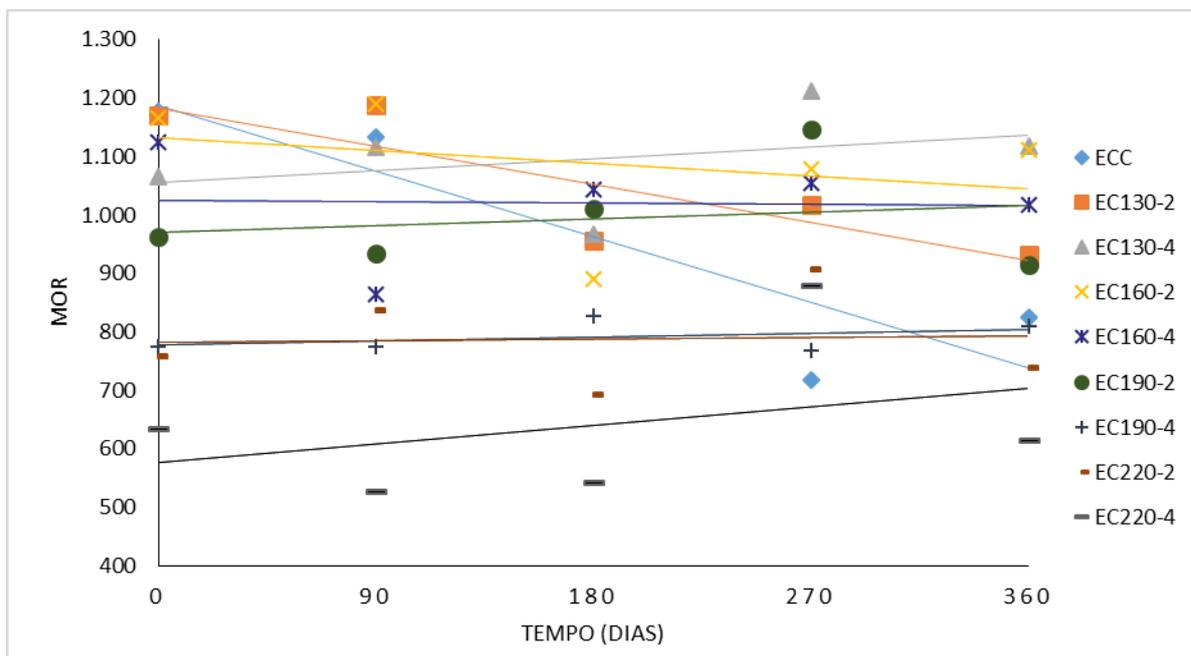
Figura 10 - Comparação de médias pelo teste Scott-Knott para o módulo de ruptura (MOE) da madeira de *Eucalyptus Grandis*.



Em que: Barras com letras iguais não possuem diferença estatística, segundo teste de Scott-Knott em 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autor (a).

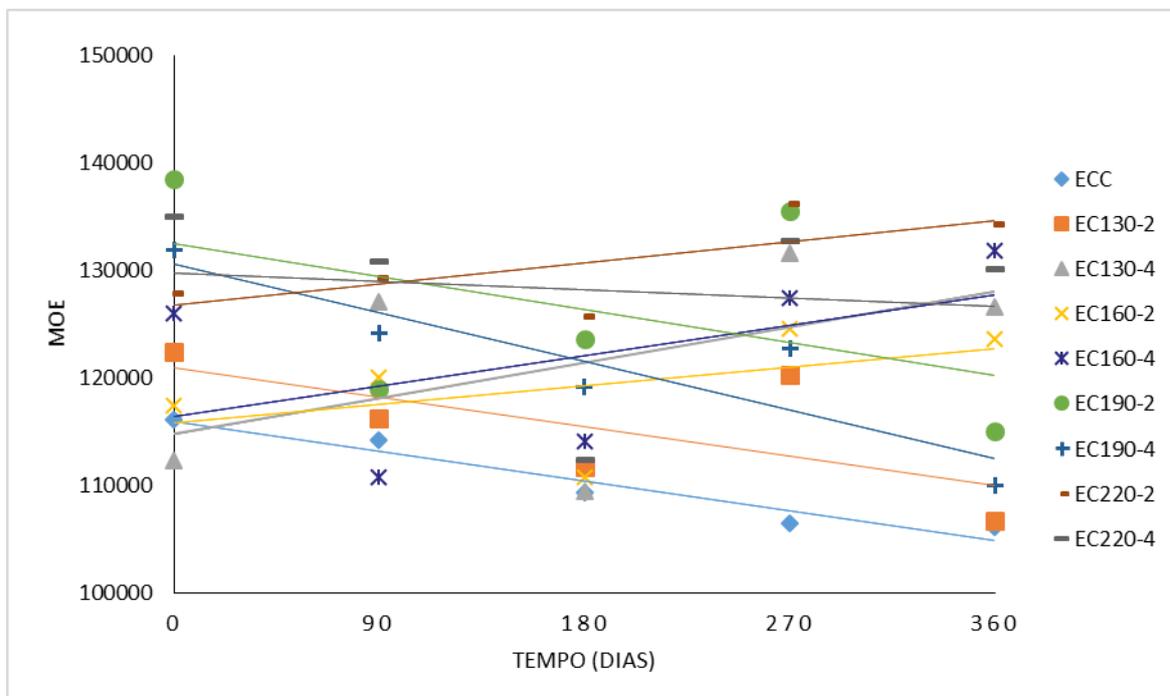
Desmembrando o fator tempo de exposição (coletas) dentro do fator termorreificação para o *Eucalyptus cloeziana* podemos observar que todos os tratamentos de termorreificação se tornaram mais estáveis em relação ao controle para o MOR (Figura 11). Para o MOE a madeira de *Eucalyptus cloeziana* apresentou tendência semelhante ao MOR, porém tratamentos térmicos mais brandos como o EC130-2 e o EC130-4 se mostraram menos eficientes se assemelhando bastante com o tratamento controle. Já nos tratamentos mais severos como o EC220-2 e o EC220-4 podemos observar uma menor variação do MOE durante o período em que a madeira esteve no campo (Figura 12).

Figura 11 - Fator tempo dentro de cada nível do fator Termorreificação por análise de regressão para o MOR de *Eucalyptus cloeziana*.



Fonte: Autora

Figura 12 - Fator tempo dentro de cada nível do fator Termorreificação por análise de regressão para o MOE de *Eucalyptus cloeziana*.



Fonte: Autora

Os modelos lineares ajustados para a estimativa para MOE e MOR gerados podem ser observados na Tabela 7. Os tratamentos mais brandos apresentam o coeficiente de determinação (R^2) mais representativo, porém os tratamentos mais severos apresentam um coeficiente de determinação muito baixo, indicando que as equações geradas não explicam os dados com eficiência.

Tabela 7 - Modelos gerados através da análise de regressão do fator coletas dentro do fator tratamentos com seus devidos coeficientes de determinação (R^2) do MOE e MOR para o *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

MOR <i>Eucalyptus cloeziana</i>			MOR <i>Eucalyptus grandis</i>		
	Modelo	R²		Modelo	R²
ECC	$y = -1,2444x + 1186,6$	0,8155	EGC	$y = -1,1097x + 932,52$	0,8677
EC130-2	$y = -0,7224x + 1182,7$	0,7354	EG130-2	$y = -0,6442x + 1058,1$	0,6607
EC130-4	$y = 0,2253x + 1055,4$	0,1287	EG130-4	$y = -1,0801x + 1106,8$	0,8353
EC160-2	$y = -0,2434x + 1131,9$	0,0858	EG160-2	$y = -0,7109x + 993,8$	0,8821
EC160-4	$y = -0,027x + 1026$	0,0016	EG160-4	$y = -0,6014x + 1025,7$	0,4643
EC190-2	$y = 0,1295x + 970,6$	0,0395	EG190-2	$y = -0,1394x + 899,99$	0,2676
EC190-4	$y = 0,0707x + 777,89$	0,1501	EG190-4	$y = -0,2174x + 783,68$	0,1579
EC220-2	$y = 0,0343x + 781,85$	0,0033	EG220-2	$y = -0,0906x + 720,96$	0,049
EC220-4	$y = 0,3478x + 577,78$	0,1219	EG220-4	$y = 0,1583x + 663,76$	0,1715

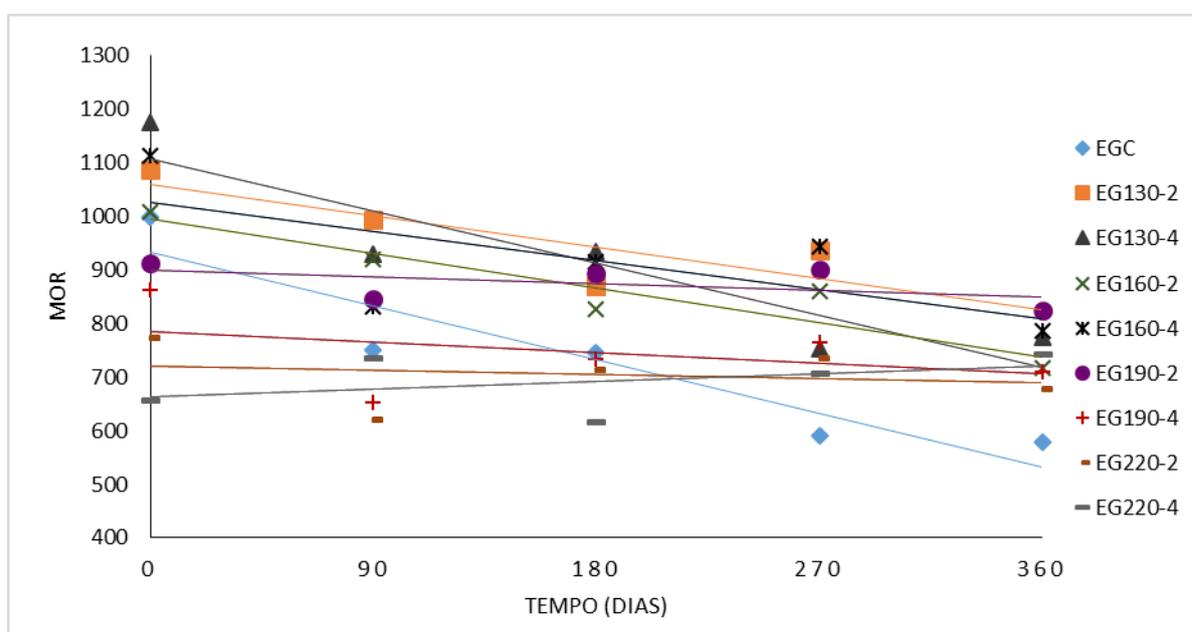
MOE <i>Eucalyptus cloeziana</i>			MOE <i>Eucalyptus grandis</i>		
	Modelo	R²		Modelo	R²
ECC	$y = -30,762x + 115951$	0,938	EGC	$y = -106,83x + 105334$	0,7901
EC130-2	$y = -30,481x + 120977$	0,461	EG130-2	$y = -49,303x + 119543$	0,8884
EC130-4	$y = 36,836x + 114781$	0,282	EG130-4	$y = -109,65x + 127574$	0,8088
EC160-2	$y = 18,955x + 115873$	0,2336	EG160-2	$y = -97,062x + 124684$	0,9199
EC160-4	$y = 31,412x + 116377$	0,2413	EG160-4	$y = -75,176x + 126953$	0,6921
EC190-2	$y = -33,868x + 132429$	0,2204	EG190-2	$y = 23,922x + 118745$	0,177
EC190-4	$y = -50,263x + 130630$	0,805	EG190-4	$y = -35,81x + 127329$	0,3586
EC220-2	$y = 21,861x + 126777$	0,4994	EG220-2	$y = -27,084x + 129875$	0,0758
EC220-4	$y = -8,5375x + 129781$	0,0179	EG220-4	$y = 9,931x + 116347$	0,0562

Fonte: Autor (a).

A madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou resultados semelhantes a madeira de *Eucalyptus cloeziana* de MOR e MOE, com os tratamentos térmicos apresentando uma maior estabilização dessas propriedades durante todo o período de exposição a campo (Figuras 13 e 14). As equações lineares ajustadas dos tratamentos térmicos expostos a temperaturas mais altas também apresentaram coeficientes de determinação que representam muito pouco dos dados do *Eucalyptus grandis*. Apesar de o MOE e o MOR seguirem uma tendência de redução ou estabilização com o passar das avaliações, eles apresentaram oscilações que podem ter interferido na geração de uma equação representativa dos dados.

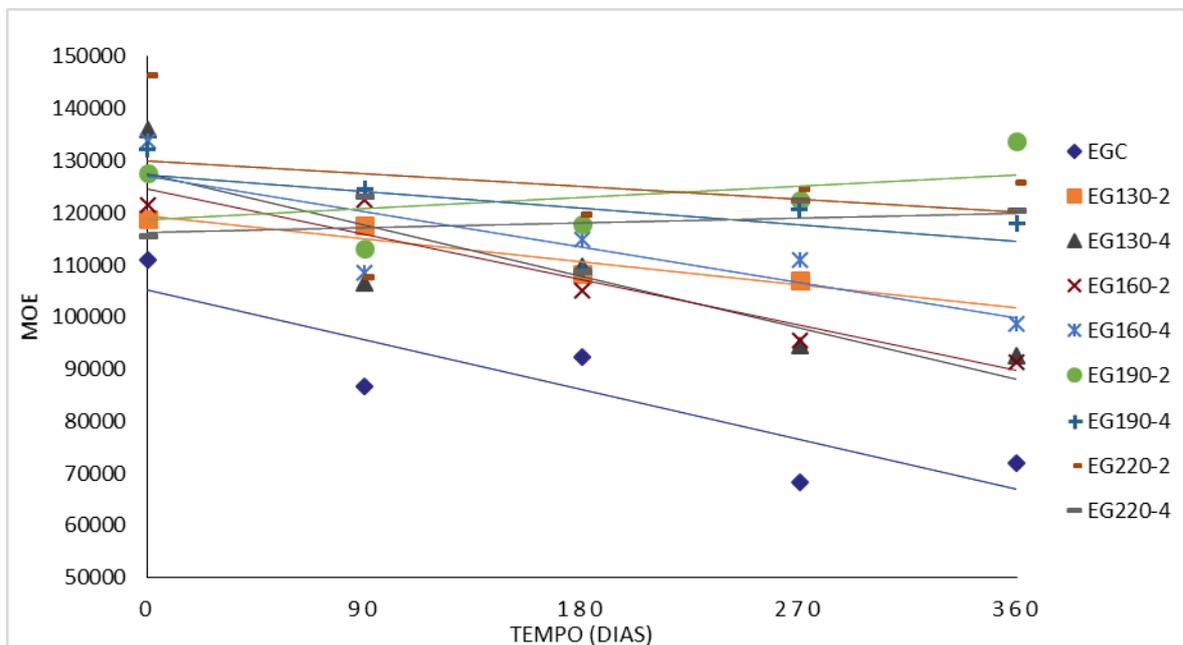
Segundo Aprile et al., (1999) essas oscilações são justificadas pelo fato de que a decomposição da madeira normalmente não é contínua, pois o seu curso deve ser representado como uma sucessão de fases de ampla atividade, marcada por intervalos de retração, devido a limitação ou inibição completa de processos físicos, químicos e biológicos que fazem parte da decomposição.

Figura 13 - Fator tempo dentro de cada nível do fator Termorreificação por análise de regressão para o MOR de *Eucalyptus grandis*.



Fonte: Autora

Figura 14 - Fator tempo dentro de cada nível do fator Termorreificação por análise de regressão para o MOE de *Eucalyptus grandis*.



Fonte: Autora

Apesar da diferença do MOE e MOR entre a maioria dos tratamentos, todos os que foram submetidos a termorreificação apresentaram resultados superiores ao controle, demonstrando que os tratamentos térmicos foram efetivos para a preservação da resistência da madeira durante o período de exposição no campo de apodrecimento.

5.5. PROPRIEDADES FÍSICAS

5.5.1. Teor de Umidade de equilíbrio (TUeq)

Os dados obtidos para o teor de umidade de equilíbrio não atenderam os pressupostos para a análise estatística paramétrica, dessa forma, os fatores foram analisados separadamente através do teste não paramétrico Kruskal Wallis com posterior teste de comparação teste de comparação múltipla de Nemenyi para identificar quais tratamentos diferiram entre si. Como pode ser observado na Tabela 8 os tratamentos diferiram significativamente ($p < 0.05$).

Tabela 8 - Resumo estatístico do teste Kruskal Wallis dos tratamentos térmicos para as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

Estatísticas Descritivas teste Kruskal Wallis TUEq (%)						
	N	Média	Desvio Padrão	Qui-Quadrado	GL	p
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	347	8,132	1,6320676	282,853	8	,000
<i>Eucalyptus grandis</i>	348	8,035	1,5198846	297,775	8	,000

Fonte: Autora.

Para ambas as espécies os tratamentos térmicos ocasionaram redução do teor de umidade de equilíbrio (Tabela 9), com maiores alterações nos tratamentos mais severos, verificando-se uma redução de 46,46% para madeira de *Eucalyptus cloeziana* (EC220-4) e 43,89% para *Eucalyptus grandis* (EG220-4) em relação a madeira não tratada. Quanto as avaliações em campo de apodrecimento, o TUEq apresentou tendência de decréscimo nas coletas de 90, 180 e 270 dias para o tratamento controle e para os tratamentos mais brandos de termorretificação (130°C e 160°C nos tempos de 2 e 4 horas) com um posterior acréscimo na coleta de 360 dias nas duas espécies. Já os tratamentos de termorretificação a 190°C e 220°C por 2 e 4 horas apresentarem acréscimos do TUEq ao longo do tempo de exposição para as madeiras de *E. cloeziana* e *E. grandis*.

O decréscimo no TUEq convergiu com os resultados encontrados por (Machado 2016) na avaliação de dois meses de exposição em campo de apodrecimento para as madeiras de Angico-vermelho, Guajuvira e Cinamomo. Sharratt et al., (2010) relataram subseqüentes decréscimos no TEEq ao longo do tempo de exposição ao intemperismo.

Tabela 9 - Teste de Kruskal Wallis para o fator coletas das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

	TUE% <i>Eucalyptus cloeziana</i>			Dias de Exposição				
	Qui-Quadrado	p		0	90	180	270	360
ECC	10,18 ^c	19,449	,001	10,41 ^{ab}	9,92 ^{ab}	9,54 ^a	9,57 ^a	10,77 ^b
EC130-2	9,29 ^c	32,255	,000	9,60 ^b	9,25 ^b	8,71 ^a	9,00 ^{ab}	9,90 ^b
EC130-4	9,23 ^c	29,169	,000	9,68 ^b	8,90 ^a	8,75 ^a	8,87 ^a	9,88 ^b
EC160-2	9,14 ^c	28,712	,000	9,61 ^b	8,88 ^a	8,79 ^a	8,85 ^a	9,59 ^b

EC160-4	9,01 ^c	29,521	,000	9,49 ^b	8,44 ^a	8,86 ^a	8,68 ^a	9,66 ^b
EC190-2	8,12 ^b	21,666	,000	8,03 ^a	8,03 ^a	7,97 ^a	7,82 ^a	8,76 ^b
EC190-4	7,69 ^b	11,481	,022	7,52 ^a	7,69 ^a	7,55 ^a	7,52 ^a	8,18 ^b
EC220-2	5,68 ^{ab}	27,812	,000	5,02 ^a	5,74 ^a	5,77 ^b	5,72 ^a	6,18 ^b
EC220-4	5,45 ^a	29,021	,000	5,01 ^a	5,55 ^b	5,45 ^b	5,35 ^{ab}	5,91 ^c
TUE% <i>Eucalyptus grandis</i>				Dias de exposição				
		Qui-Quadrado	p	0	90	180	270	360
EGC	9,75 ^b	28,903	,000	9,94 ^b	9,66 ^b	9,3 ^a	9,41 ^a	10,50 ^b
EG130-2	9,08 ^b	20,089	,000	9,3 ^b	8,87 ^{ab}	8,98 ^{ab}	8,48 ^a	9,72 ^b
EG130-4	9,18 ^b	23,139	,000	9,53 ^b	9,04 ^{ab}	8,87 ^a	8,88 ^a	9,56 ^b
EG160-2	9,13 ^b	17,786	,001	9,39 ^b	8,91 ^a	8,88 ^a	9,03 ^a	9,45 ^b
EG160-4	8,76 ^b	15,866	,003	8,94 ^{ab}	8,77 ^{ab}	8,41 ^a	8,45 ^a	9,15 ^b
EG190-2	7,73 ^{ab}	13,725	,008	7,49 ^a	7,87 ^{ab}	7,56 ^{ab}	7,63 ^{ab}	8,08 ^b
EG190-4	7,25 ^{ab}	11,607	,061	6,98 ^{ns}	7,28 ^{ns}	7,12 ^{ns}	7,42 ^{ns}	7,44 ^{ns}
EG220-2	5,78 ^a	30,241	,000	5,12 ^a	5,80 ^{ab}	6,41 ^a	5,66 ^a	6,22 ^b
EG220-4	5,47 ^a	27,826	,000	4,97 ^a	5,63 ^{ab}	5,36 ^a	5,35 ^a	6,00 ^b

Em que: Médias com letras iguais na linha (coletas) e na coluna (tratamentos térmicos) não possuem diferença estatística, segundo teste de Nemenyi em 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autor (a).

A redução do teor de umidade de equilíbrio observada na madeira termorretificada em relação a madeira *in natura* está associada com a menor acessibilidade da água na madeira (BOONSTRA; TJEERDSMA 2006), resultante da diminuição de grupos OH e/ou clivagem das cadeias glicosídicas, ocasionada pela despolimerização dos seus componentes, essencialmente as hemiceluloses (AKYILDIZ; ATES 2008).

Segundo Rowell et al., (2009), formação de furfural e hidroximetilfurfural decorrentes da desidratação das pentoses e hexoses, respectivamente, tornam a madeira menos higroscópica, reduzindo, dessa forma, seu teor de umidade de equilíbrio.

Os tratamentos de termorretificação apresentaram grande redução do TUEq de maneira geral para ambas as espécies estudadas e estabilidade frente ao tempo de exposição em campo, de tal modo que pode-se afirmar que o tratamento térmico foi eficiente na manutenção do teor de umidade de equilíbrio.

5.5.2. Eficiência de repelência à água (WRE %)

Segundo Del Menezzi (2006), quando a variável WRE % expressa valores de 0% significa que os tratamentos não tiveram qualquer efeito sobre a estabilização dimensional, um valor negativo significa um efeito prejudicial dos tratamentos, ou seja, um aumento da movimentação dimensional, enquanto um valor de 100% significa que a madeira atingiu a estabilidade, portanto, alta eficiência do tratamento aplicado.

Analisando ANOVA da variável WRE% (Apêndice E), observou-se que a interação entre os fatores tratamentos térmicos e coletas a campo não foi significativa para ambas as espécies, entretanto os dois fatores apresentaram significância e foram avaliados separadamente.

Através do desmembramento do fator tratamento térmico (Tabela 10) observa-se que para ambas as espécies houve acréscimos na eficiência de repelência a água em todos os tratamentos de termorreificação. Como já era de se esperar, os aumentos na WRE% tornaram-se mais expressivos conforme o aumento da temperatura de termorreificação chegando a 59,45% no EC220-4 e 55,45% para o EG220-4, corroborando com os resultados encontrados para o TUEq. Pertuzzatti, et al. (2015) encontraram resultados semelhantes para madeira de Canemaçu termorreificada.

Segundo Hill (2006), as alterações nas propriedades físicas após a realização dos tratamentos de termorreificação, estão relacionadas com a redução do número de sítios primários de absorção (grupos OH) dentro da parede celular da madeira, resultado da despolimerização e remoção das hemiceluloses.

Tabela 10 – Médias dos tratamentos e das avaliações a campo, seguido dos modelos gerados através da análise de regressão do fator coletas dentro do fator tratamentos com seus devidos coeficientes de determinação (R^2) do WRE % para o *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

WRE % <i>Eucalyptus cloeziana</i>								
	0	90	180	270	360	Média	Modelo	R²
	Dias	Dias	Dias	Dias	Dias	geral		
EC130-2	10,85	20,18	8,94	12,87	2,57	10,59d	$y = -0,0265x + 15,859$	0,349
EC130-4	26,82	17,35	5,97	19,41	17,11	17,81c	$y = -0,0193x + 20,803$	0,134
EC160-2	24,39	30,92	7,12	13,01	13,22	17,05c	$y = -0,0447x + 25,782$	0,433
EC160-4	30,45	16,71	15,72	24,71	11,02	19,52c	$y = -0,0343x + 25,896$	0,395
EC190-2	42,32	29,85	19,68	24,30	23,15	27,93b	$y = -0,0488x + 36,642$	0,612

EC190-4	44,97	38,34	31,76	32,31	28,05	35,20b	$y = -0,0443x + 43,057$	0,900
EC220-2	64,51	50,85	49,85	43,17	50,17	52,07a	$y = -0,0404x + 58,984$	0,543
EC220-4	71,83	57,35	55,57	59,18	53,29	59,45a	$y = -0,0392x + 66,492$	0,589

WRE % *Eucalyptus grandis*

	0 dias	90 Dias	180 Dias	270 Dias	360 Dias	Média geral	Modelo	R²
EG130-2	37,08	43,21	18,23	25,97	29,41	29,89c	$y = -0,0362x + 37,297$	0,281
EG130-4	44,96	44,04	20,40	40,07	26,21	34,88c	$y = -0,0461x + 43,43$	0,346
EG160-2	25,59	44,39	19,52	50,59	33,11	33,58c	$y = 0,0236x + 30,389$	0,068
EG160-4	43,26	42,81	35,19	29,89	28,50	35,92b	$y = -0,0472x + 44,419$	0,931
EG190-2	50,70	39,98	26,51	34,02	44,09	38,71b	$y = -0,0213x + 42,892$	0,106
EG190-4	59,63	53,50	19,94	39,72	44,39	43,48a	$y = -0,0492x + 52,29$	0,210
EG220-2	64,79	57,56	45,08	40,17	45,64	50,73a	$y = -0,0619x + 61,788$	0,749
EG220-4	65,97	62,79	37,67	48,00	57,16	55,45a	$y = -0,036x + 60,801$	0,197

Em que: Médias com letras iguais na coluna (tratamentos térmicos) não possuem diferença estatística, segundo teste de Scott-Knott em 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autor (a).

Em relação ao tempo de exposição a campo o *Eucalyptus cloeziana*, o WRE decresceu ao longo do período de avaliação em todos os tratamentos térmicos. Segundo Rubem (2014), o intemperismo causa modificações químicas na madeira tornando sua superfície mais áspera, com presença de fissuras e causa danos na sua microestrutura, favorecendo dessa forma a absorção de água e, conseqüentemente, um decréscimo na estabilidade dimensional.

O *Eucalyptus grandis* não apresentou tendência definida para a eficiência de repelência a água durante o tempo de exposição em campo, o que refletiu nos modelos gerados através da análise de regressão, nos quais apenas o EG160-4 e EG220-2 apresentaram coeficientes de determinação satisfatórios.

5.6. PROPRIEDADES SUPERFICIAIS

5.6.1. Molhabilidade

Através da análise de variância do ângulo de contato mensurado a 10 segundos (Apêndice F) observa-se que houve interação entre os fatores termorreificação e coletas em campo de apodrecimento para o *Eucalyptus cloeziana* e para o *Eucalyptus grandis*.

De maneira geral os tratamentos térmicos apresentaram uma redução no ângulo de contato em relação a madeira não tratada, o que sugere um aumento na molhabilidade para ambas as madeiras. Entretanto, para a madeira exposta em campo de apodrecimento observa-se uma maior estabilidade das madeiras termorretrificadas em relação a madeira não tratada, podendo-se observar que aos 360 dias de exposição todos os tratamentos térmicos apresentaram acréscimos no ângulo de contato quando comparadas com o tratamento controle.

A maior estabilidade da molhabilidade observada nas madeiras tratadas termicamente e *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* vai de encontro aos resultados de WRE% e T_{Ueq}, em que os tratamentos térmicos diminuem a afinidade da madeira com a água. Segundo Homan et al. (2000), a interação limitada da madeira termorretrificada com a água em comparação a madeira não tratada está relacionada com a redução dos grupos OH disponíveis na estrutura das hemiceluloses.

Já a redução da molhabilidade observada inicialmente para os tratamentos térmicos pode estar relacionada a elevação da cristalinidade da celulose (PÉTRISSANS et al., 2005). Da mesma forma, Nussbaum (1999) afirmou que a inativação da superfície do material induz a uma redução na energia superficial e, conseqüentemente, uma molhabilidade inferior. Este fenômeno é influenciado por uma série de mecanismos de redução das forças de atração na superfície da madeira, tais como oxidação da superfície, migração dos extrativos para a superfície da madeira, reorientação da superfície molecular e fechamento dos microporos (CHRISTIANSEN, 1991).

Tabela 11 - Médias das avaliações a campo, seguido dos modelos gerados através da análise de regressão do fator coletas dentro do fator tratamentos com seus devidos coeficientes de determinação (R²) da Molhabilidade para o *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

	[°] ÂNGULO A 10 SEGUNDOS <i>Eucalyptus cloeziana</i>						
	0 Dias	90 Dias	180 Dias	270 Dias	360 Dias	Modelo	R ²
ECC	120,7	99,9	90,5	95,5	76,1	y = -0,1039x + 115,23	0,8338
EC130-2	100,0	124,4	101,4	106,3	98,6	y = -0,0231x + 110,3	0,0964
EC130-4	98,4	106,1	103,9	96,5	95,5	y = -0,0169x + 103,11	0,2678

EC160-2	113,3	114,3	121,0	106,9	99,3	$y = -0,0394x + 118,06$	0,4642
EC160-4	106,5	118,3	111,2	114,3	90,1	$y = -0,0409x + 115,44$	0,2825
EC190-2	116,3	128,3	102,3	102,1	93,2	$y = -0,0804x + 122,91$	0,6825
EC190-4	110,4	113,9	91,8	94,2	86,5	$y = -0,075x + 112,85$	0,7823
EC220-2	121,2	103,2	92,0	99,8	103,7	$y = -0,0428x + 111,66$	0,3225
EC220-4	124,5	106,8	100,4	95,4	89,7	$y = -0,09x + 119,56$	0,9144
[°] ÂNGULO A 10 SEGUNDOS <i>Eucalyptus grandis</i>							
	0 Dias	90	180	270	360	Modelo	R ²
		Dias	Dias	Dias	Dias		
EGC	124,8	87,3	90,3	83,3	69,1	$y = -0,1282x + 114,04$	0,784
EG130-2	100,1	106,6	90,7	99,9	75,0	$y = -0,0633x + 105,88$	0,539
EG130-4	105,4	102,0	86,7	87,3	82,2	$y = -0,068x + 104,95$	0,883
EG160-2	104,1	111,6	92,4	99,0	78,5	$y = -0,0709x + 109,86$	0,645
EG160-4	103,1	102,1	91,1	93,0	87,4	$y = -0,045x + 103,44$	0,854
EG190-2	103,7	105,8	88,4	90,5	83,8	$y = -0,0611x + 105,43$	0,798
EG190-4	105,4	106,7	80,4	86,3	84,9	$y = -0,0681x + 105,02$	0,618
EG220-2	125,1	107,4	94,7	85,0	85,9	$y = -0,112x + 119,78$	0,895
EG220-4	123,4	98,5	89,5	84,9	81,3	$-0,1084x + 115,05$	0,841

Reduções do ângulo de contato foram verificadas por Brisolari (2008) para mensurações com água deionizada no alburno e no cerne de madeira de *Pinus elliottii*, *Araucaria angustifolia*, e no cerne de *Eucalyptus grandis* em que tal fato foi atribuído a degradação da superfície da madeira. Segundo o autor a redução do ângulo de contato do cerne de *Eucalyptus grandis* pode estar associada a significativa presença de polímeros menores, extrativos e água, as quais juntas desenvolvem tensões que acarretam em alterações na hidrofobicidade do material e surgimento de defeitos como rachaduras e empenamentos.

5.6.2. Colorimetria

Os dados obtidos para os parâmetros colorimétricos não atenderam os pressupostos para a análise estatística paramétrica, dessa forma, a análise dos dados foi feita através do teste não paramétrico Kruskal Wallis, com posterior teste de comparação múltipla de Nemenyi para identificar quais tratamentos diferiram entre si.

Como através dos testes não paramétricos não é possível observar a interação dos tratamentos térmicos e tempo de exposição a campo, analisamos os fatores separadamente.

A cor da madeira é decorrente da sua composição química e está sujeita a sofrer variações devido a susceptibilidade dos seus componentes frente a reações com luz e calor, em diferentes intensidades para cada espécie (HON 2001).

De maneira geral para as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* foram observadas tendências semelhantes em relação as alterações da luminosidade (L^*).

Os valores de luminosidade tenderam a diminuir para as madeiras tratadas termicamente e essas reduções foram se tornando mais expressivas conforme o aumento da temperatura da termorreificação, chegando a 45,9% para o tratamento térmico mais severo (EC220-4) da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e 36,8% para o tratamento EG220-4 da madeira de *Eucalyptus grandis* (Tabela 12).

A diminuição da luminosidade da madeira, ou seja, o seu escurecimento, é um fator positivo por agregar valor ao torná-la semelhante com as madeiras tropicais (GONÇALEZ et al., 2006).

Esses resultados corroboram com os encontrados por Conte (2015) em madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* termorreificada em óleo de soja. Segundo Dubey et al., (2012), os principais responsáveis pela redução da luminosidade são a degradação das hemiceluloses e a alteração no conteúdo de extrativos.

Os mesmos autores verificaram um acréscimo na degradação das hemiceluloses conforme o aumento da temperatura dos tratamentos térmicos em madeira de *Pinus radiata*, e Cademartori et al. (2013) relataram resultados semelhantes em madeira de *Eucalyptus cloeziana*. Dessa forma, podemos explicar o decréscimo da luminosidade em função da maior degradação das hemiceluloses causado pelo aumento das temperaturas de termorreificação.

As duas espécies apresentaram propensão de diminuição da luminosidade nos tratamentos controle e nos tratamentos térmicos mais suaves durante o período de exposição a campo, dispondo de decréscimos de 23,4% e 33,77% para os

tratamentos EGC e ECC respectivamente durante 360 dias de exposição. O EG160-4 apresentou um acréscimo de 14% e no tratamento EC160-2 observou-se uma redução de 16,8%.

Os tratamentos em que a temperatura de termorreificação foi de 220°C apresentaram acréscimos durante os 360 dias de exposição para ambas as espécies, chegando a aumentar 18% no EC220-4 e 18,2 no EG220-4. Os tratamentos que menos variaram a luminosidade foram o EG190-4 e o EC190-4 apresentando 7,7 e 12% de variação do L*. Segundo Feist (1983), o efeito do intemperismo tende a amarelar as madeiras mais claras e a descolorir as madeiras mais escuras.

Tabela 12 - Resumo estatístico do teste Kruskal Wallis da Luminosidade (L*) para o tempo de exposição a campo.

L* <i>Eucalyptus cloeziana</i>				Temo de exposição (dias)				
	Médias	Chi-Square	p	0	90	180	270	360
ECC	50,77 ^a	37,91	,000	68,0 ^a	44,4 ^b	39,6 ^b	43,9 ^b	45,0 ^b
EC130-2	39,66 ^b	9,623	,051	48,5 ^{ns}	39,1 ^{ns}	37,8 ^{ns}	38,8 ^{ns}	39,9 ^{ns}
EC130-4	41,51 ^b	33,127	,000	52,4 ^a	36,2 ^b	37,6 ^b	34,2 ^b	41,3 ^b
EC160-2	40,18 ^b	26,230	,000	47,2 ^a	37,0 ^b	38,7 ^b	37,6 ^b	39,2 ^b
EC160-4	39,81 ^b	35,983	,000	51,5 ^a	37,9 ^b	34,5 ^b	38,1 ^b	37,9 ^b
EC190-2	36,32 ^{bc}	4,498	,343	35,1 ^{ns}	35,0 ^{ns}	36,8 ^{ns}	36,9 ^{ns}	37,3 ^{ns}
EC190-4	35,15 ^c	11,385	,023	33,1 ^a	34,3 ^a	34,9 ^a	35,4 ^a	37,2 ^b
EC220-2	29,13 ^d	34,801	,000	25,5 ^a	29,5 ^b	31,5 ^b	31,0 ^b	30,6 ^b
EC220-4	27,43 ^d	40,157	,000	24,6 ^b	27,2 ^b	29,0 ^b	28,6 ^b	29,1 ^b

L* <i>Eucalyptus grandis</i>				Temo de exposição (dias)				
	Médias	Chi-Square	p	0	90	180	270	360
EGC	47,60 ^a	36,067	,000	65,1 ^a	49,2 ^a	43,1 ^b	40,8 ^b	41,3 ^b
EG130-2	43,26 ^{ab}	41,042	,000	50,8 ^a	44,1 ^a	39,1 ^a	39,5 ^b	38,9 ^b
EG130-4	42,21 ^{ab}	35,875	,000	50,4 ^a	41,0 ^b	38,0 ^b	38,4 ^b	38,5 ^b
EG160-2	43,55 ^{ab}	26,549	,000	52,5 ^a	41,2 ^{ab}	40,6 ^b	40,6 ^b	39,2 ^b
EG160-4	41,36 ^{ab}	16,365	,003	46,5 ^a	38,8 ^b	39,0 ^b	41,0 ^{ab}	39,9 ^{ab}
EG190-2	39,85 ^b	7,910	,095	41,6 ^{ns}	39,9 ^{ns}	40,0 ^{ns}	38,8 ^{ns}	37,7 ^{ns}
EG190-4	36,15 ^c	13,265	,010	33,4 ^a	35,6 ^{ab}	38,1 ^b	37,1 ^{ab}	36,0 ^{ab}
EG220-2	31,90 ^{cd}	8,503	,075	28,3 ^{ns}	33,0 ^{ns}	32,9 ^{ns}	34,3 ^{ns}	32,5 ^{ns}
EG220-4	30,05 ^d	20,449	,000	26,4 ^a	28,8 ^{ab}	30,9 ^b	32,1 ^b	31,2 ^b

Em que: Médias com letras iguais na linha (coletas) e na coluna (tratamentos térmicos) não possuem diferença estatística, segundo teste de Nemenyi em 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autor (a).

No *Eucalyptus cloeziana* observou-se um aumento na luminosidade aos 360 dias de exposição para o tratamento controle e para os tratamentos térmicos nas temperaturas de 130°C, 160°C e 190°C. O aumento da luminosidade na última coleta do campo de apodrecimento pode estar relacionado ao aumento da concentração de celulose na superfície, visto que os produtos formados são lixiviados pela água (Hon 2001). Para Feist e Hon (1984) a diminuição da claridade no início do intemperismo está relacionado com modificação da lignina e formação de grupos cromóforos e o posterior acréscimo decorre da lixiviação de tais produtos.

Podemos observar que os tratamentos EC130-2, EC190-2, EG190-2 e EG220-2 não diferiram significativamente durante o período de exposição a campo e que a maioria dos tratamentos diferiu apenas da madeira que não foi exposta, ou seja as amostras dos dias de exposição zero. Isso nos indica que tivemos uma estabilidade na luminosidade da madeira durante o tempo em que a madeira foi exposta a campo e essa estabilidade se mostrou mais expressiva nas madeiras tratadas termicamente.

Para a coordenada cromática verde-vermelho (a^*), na madeira de *Eucalyptus cloeziana*, (Tabela 13), ocorreu acréscimo de 19,4% para o tratamento EC130-4 e decréscimo de 49,5% para o tratamento a EC220-4 em relação as amostras controle. Entretanto, dentre as amostras termorretificadas os valores da coordenada cromática verde-vermelho são maiores quanto menor a temperatura. Todos os tratamentos, exceto o mais severo EC220-4°C, apresentaram decréscimo ao final da exposição em campo de apodrecimento, com as menores variações observadas no tratamento EC220-4°C (redução de 3,5%).

Tabela 13 - Resumo estatístico do teste Kruskal Wallis da coordenada cromática (a^*) para o tempo de exposição a campo e resultado do teste de médias de comparação em pares para os tratamentos e tempo de exposição.

	a^* <i>Eucalyptus cloeziana</i>			Tempo de exposição (dias)				
	Médias	Qui-Quadrado	Pr>Fc	0	90	180	270	360
ECC	6,34 ^a	22,687	,000	7,8 ^a	6,6 ^b	5,1 ^b	4,8 ^b	5,8 ^b
EC130-2	5,82 ^a	15,545	,004	14,8 ^a	5,6 ^a	4,3 ^a	5,1 ^a	5,3 ^b
EC130-4	7,57 ^a	37,389	,000	13,7 ^a	6,2 ^b	4,5 ^b	4,8 ^b	4,3 ^b

EC160-2	6,91 ^a	38,649	,000	13,0 ^a	5,4 ^b	5,6 ^b	4,9 ^b	3,4 ^b
EC160-4	6,54 ^a	34,077	,000	14,1 ^a	5,7 ^a	4,6 ^b	4,7 ^b	4,1 ^b
EC190-2	5,54 ^{ab}	25,243	,000	10,1 ^a	5,8 ^a	4,1 ^b	4,5 ^b	4,5 ^b
EC190-4	5,10 ^{ab}	21,521	,000	8,8 ^a	6,0 ^a	4,3 ^{bc}	4,1 ^c	4,1 ^c
EC220-2	4,12 ^{bc}	23,972	,000	5,2 ^{ab}	4,6 ^b	3,6 ^{bc}	3,2 ^{bc}	2,6 ^c
EC220-4	3,20 ^c	14,846	,005	2,8 ^a	3,7 ^{ab}	3,7 ^{ab}	2,5 ^a	2,7 ^a

	a* <i>Eucalyptus grandis</i>			Tempo de exposição (dias)				
	Médias	Qui-Quadrado	Pr>Fc	0	90	180	270	360
EGC	8,43 ^a	26,944	,000	13,0 ^a	8,0 ^b	7,2 ^b	7,5 ^b	6,1 ^b
EG130-2	10,18 ^a	46,203	,000	20,1 ^a	8,1 ^b	6,0 ^b	6,7 ^b	5,9 ^b
EG130-4	9,89 ^{ab}	43,064	,000	19,5 ^a	8,1 ^{ab}	5,7 ^b	5,1 ^b	5,2 ^b
EG160-2	9,44 ^a	39,535	,000	17,5 ^a	7,8 ^{ab}	6,4 ^b	6,5 ^b	6,0 ^b
EG160-4	9,67 ^{ab}	41,946	,000	20,1 ^a	7,6 ^{ab}	5,5 ^b	8,0 ^{ab}	5,2 ^b
EG190-2	9,51 ^a	37,096	,000	18,8 ^a	8,8 ^b	6,5 ^{bc}	5,8 ^{bc}	5,2 ^c
EG190-4	8,40 ^{ab}	33,418	,000	15,0 ^a	7,6 ^{ab}	6,6 ^b	5,3 ^b	5,2 ^b
EG220-2	6,40 ^b	23,125	,000	7,8 ^a	8,0 ^a	5,2 ^b	5,8 ^b	4,6 ^b
EG220-4	5,97 ^b	12,146	,016	7,3 ^{ns}	6,8 ^{ns}	5,3 ^{ns}	5,2 ^{ns}	5,6 ^{ns}

Em que: Médias com letras iguais na linha (coletas) e na coluna (tratamentos térmicos) não possuem diferença estatística, segundo teste de Nemenyi em 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autor (a).

A madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou resultados semelhantes a madeira de *Eucalyptus cloeziana*, com aumentos na coordenada a* para os tratamentos de termorretificação mais amenos e decréscimos para os mais severos, chegando a um acréscimo de 20,7% no EG130-2 e uma redução de 29,1 no EG220-4 em relação ao tratamento controle (EGC). Resultados semelhantes foram encontrados por outras pesquisas para as mesmas espécies (CADEMARTORI et al. 2014; CONTE, 2015). Em relação ao tempo de exposição a campo, a maior estabilidade também foi verificada na madeira tratada a 220°C no tratamento EG220-4 com uma variação de 23%.

Segundo Chen et al. (2012), o aumento de a* está relacionado a condensação, degradação e oxidação de variados elementos da madeira. Os autores afirmaram que substâncias como a lignina, proantocianidinas e outros extrativos podem condensar e formar subprodutos e, conseqüentemente, contribuir para o aumento da intensidade do tom vermelho nas amostras de madeira. Para Gierlinger et al. (2004) o aumento na coordena a* apresenta correlação positiva com a concentração de fenóis na

madeira. Dessa forma, pode-se supor que, até certo ponto, a cromática a* vem a somar como um indicador de aumento da durabilidade da madeira (CONTE et al. 2014).

A redução da coordenada cromática a* foi descrita por Mesquita (2016) em estudos com madeira exposta ao intemperismo artificial com fotodegradação e simulação de chuva e por Machado (2016) em seu trabalho com madeiras de Guajuvira, Cinamomo e Angico-vermelho expostas por doze meses em campo de apodrecimento. Segundo Oliveira et al. (2007), esse decréscimo da coordenada cromática a* está relacionado com a lixiviação dos compostos cromóforos e extrativos de cor vermelha.

As menores variações de a* causadas pela exposição ao intemperismo nos tratamentos mais severos são corroborados por Tolvaj et al., (2014), que encontrou resultados mais estáveis na temperatura de 200°C e conclui que a baixa variação está relacionada a estabilidade dos subprodutos formados a esta temperatura.

A coordenada cromática azul-amarelo (b*) para *Eucalyptus cloeziana* apresentou decréscimos conforme o aumento da temperatura entre as amostras termorretificadas, em relação as amostras controle (Figura 14). A menor variação (redução de 2,6%) ocorreu no tratamento EC130-4 e a maior (redução de 71,6%) no tratamento EC220-4. Os tratamentos mais severos (190°C e 220°C) apresentaram menor variação aos 360 dias de avaliação a campo e tendência mais estável ao longo do tempo de exposição, chegando a não diferir estatisticamente, no caso do EC190-2 e EC190-4, enquanto que o tratamento EC130-4 teve a maior variação, com redução de 55,5%.

Tabela 14 - Resumo estatístico do teste Kruskal Wallis da coordenada cromática (b*) para o tempo de exposição a campo e resultado do teste de médias de comparação em pares para os tratamentos e tempo de exposição

	b* <i>Eucalyptus cloeziana</i>			Tempo de exposição (dias)				
	Médias	Qui-Quadrado	Pr>Fc	0	90	180	270	360
ECC	18,99 ^a	32,817	,000	23,5 ^a	18,1 ^b	15,6 ^b	16,8 ^b	17,2 ^b
EC130-2	15,52 ^{ab}	12,070	,017	25,3 ^a	15,9 ^a	13,6 ^b	14,7 ^b	14,6 ^b
EC130-4	18,48 ^{ab}	35,820	,000	30,5 ^a	14,7 ^b	13,5 ^b	11,9 ^b	13,4 ^b

EC160-2	17,22 ^{ab}	36,098	,000	26,5 ^a	14,5 ^b	15,7 ^b	14,1 ^b	11,8 ^b
EC160-4	16,16 ^b	32,128	,000	28,7 ^a	14,5 ^b	12,3 ^b	13,6 ^b	12,6 ^b
EC190-2	13,45 ^{bc}	8,884	,064	15,9 ^{ns}	13,0 ^{ns}	13,0 ^{ns}	13,2 ^{ns}	13,0 ^{ns}
EC190-4	12,28 ^c	2,718	,606	13,3 ^{ns}	12,4 ^{ns}	12,1 ^{ns}	12,0 ^{ns}	12,2 ^{ns}
EC220-2	7,40 ^d	19,760	,001	5,5 ^a	7,9 ^b	8,7 ^b	8,4 ^b	7,6 ^{ab}
EC220-4	5,38 ^d	31,643	,000	3,2 ^a	5,2 ^{ab}	6,9 ^b	6,0 ^b	6,7 ^b

	b* <i>Eucalyptus grandis</i>			Tempo de exposição (dias)				
	Médias	Qui-Quadrado	Pr>Fc	0	90	180	270	360
EGC	19,23 ^a	28,931	,000	25,2 ^a	20,1 ^{ab}	17,2 ^b	17,4 ^b	16,4 ^b
EG130-2	19,02 ^a	48,149	,000	27,3 ^a	19,1 ^b	14,8 ^c	15,6 ^c	14,4 ^c
EG130-4	18,57 ^{ab}	35,875	,000	28,4 ^a	17,4 ^{ab}	14,0 ^b	13,5 ^b	13,6 ^b
EG160-2	18,56 ^a	35,219	,000	26,6 ^a	17,0 ^{ab}	15,3 ^b	16,0 ^b	15,1 ^b
EG160-4	17,35 ^{ab}	37,590	,000	25,5 ^a	15,3 ^b	13,7 ^b	16,7 ^{ab}	14,0 ^b
EG190-2	16,88 ^{ab}	34,515	,000	22,1 ^a	17,2 ^{ab}	15,1 ^b	14,9 ^b	13,5 ^b
EG190-4	14,46 ^b	7,033	,134	15,6 ^{ns}	14,4 ^{ns}	15,1 ^{ns}	13,2 ^{ns}	12,8 ^{ns}
EG220-2	10,68 ^c	7,152	,128	8,8 ^{ns}	12,4 ^{ns}	10,5 ^{ns}	12,7 ^{ns}	10,1 ^{ns}
EG220-4	8,85 ^c	11,107	,025	6,7 ^a	8,3 ^{ab}	9,0 ^{ab}	9,9 ^b	9,7 ^b

Em que: Médias com letras iguais na linha (coletas) e na coluna (tratamentos térmicos) não possuem diferença estatística, segundo teste de Nemenyi em 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autor (a).

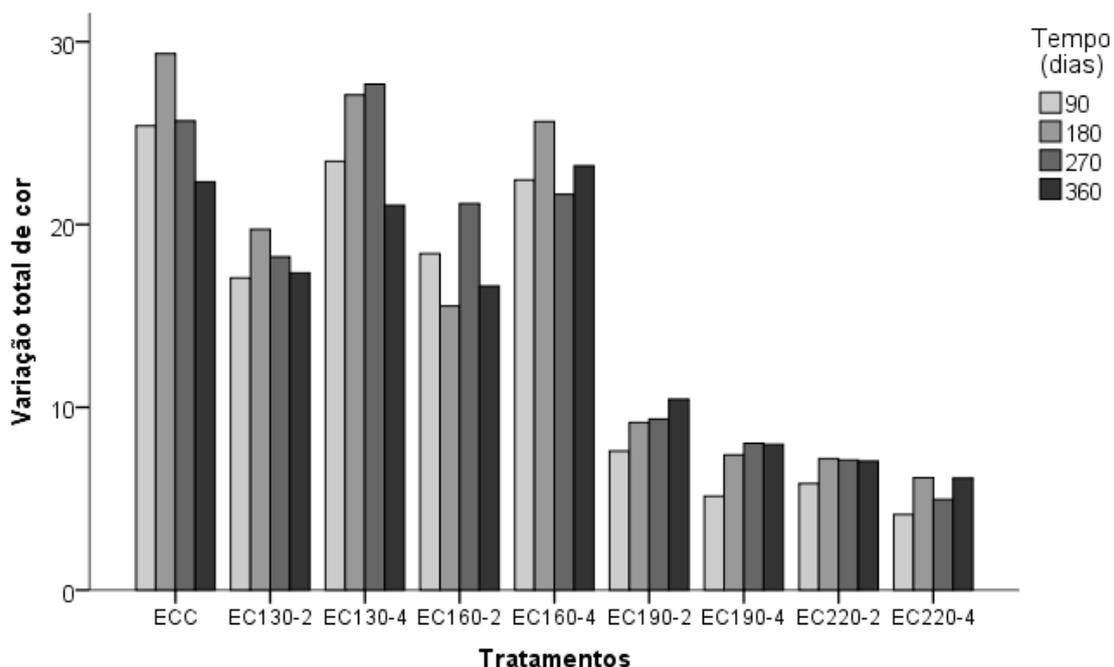
A cromática azul-amarelo (b*) da madeira de *Eucalyptus grandis* (Tabela 14) apresentou a mesma relação com a termorretificação e tempo de exposição que a madeira de *Eucalyptus cloeziana*. Portanto, quanto maior a temperatura, maiores foram as reduções na cromática azul-amarelo e menor a variação provocada durante o período de avaliação a campo. A termorretificação causou uma redução de 53,9% na cromática b* para o tratamento a EG220-4 e as menores variações provocadas pela exposição a campo foram a dos tratamentos EG190-4 e EG220-2, nos quais não houve diferença significativa em nenhuma das coletas realizadas.

Reduções na coordenada cromática b*, após a termorretificação também foram encontradas por Cademartori et al., (2014) e Moura e Brito (2011) em madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. De acordo com Moura e Brito (2011) a redução da coordenada azul-amarelo pode ser explicada pela volatilização de substâncias (provavelmente extrativos) que conferem a cor amarela à madeira. Já para Oliveira et al., (2004), a cromática b* em madeira de eucalipto é significativamente influenciada pelas modificações e/ou alteração na proporção da lignina, polifenóis e comprimento da fibra.

O subseqüentes decréscimos de b^* encontrados nas madeiras expostas a campo se assemelham aos resultados encontrados por Machado (2016) e são ocasionados pela maior quantidade de grupos cromóforos lixiviados em relação aos produzidos a partir da lignina, esta tendência foi encontrada e descrita por Oliveira, Pastore et al., (2007).

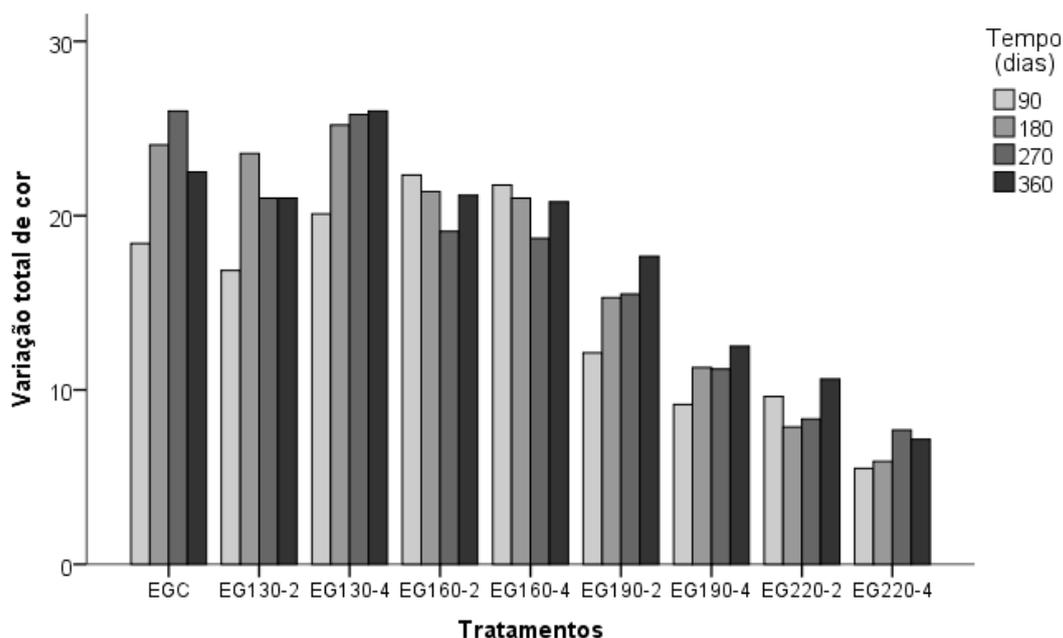
Como esperado, a variação total de cor (ΔE) tendeu a diminuir conforme o aumento da temperatura de termorretificação para as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* como podemos observar nas figuras 14 e 15. Os tratamentos térmicos mais brandos (130 e 160°C) apresentaram uma maior variação de cor durante o período de avaliação em campo, assemelhando-se ao tratamento testemunha. Já os tratamentos mais severos (190 e 220°C) reduziram a alteração de cor provocada pela ação do intemperismo e organismos xilófagos na madeira de ambas espécies, tornando-as menos susceptíveis a degradação superficial (Apêndices G e H).

Figura 1 - Variação de cor da madeira *Eucalyptus Cloeziana*



Fonte: Autora.

Figura 2 - Variação de cor da madeira *Eucalyptus grandis*



Fonte: Autora.

De acordo com a classificação de Camargos e González (2001) a cor inicial das amostras de ambas as espécies nos tratamentos testemunha e termorretificados a 130°C foi marrom-claro, e após os 360 dias de avaliação de campo de apodrecimento a cor mudou para oliva. As madeiras tratadas termicamente a 160°C apresentaram uma coloração marrom oliva antes de irem a campo, e após a coleta de 360 dias as madeiras passaram a apresentar a cor marrom escuro. Já as madeiras termorretificadas a 190°C e 220°C apresentaram coloração preta e mantiveram essa cor durante os 360 dias de avaliação em campo de apodrecimento.

6. CONCLUSÕES

Os resultados do índice de comportamento e perda de massa mostraram que a termorreificação foi eficiente na manutenção da resistência biológica, com destaque para os tratamentos térmicos nas temperaturas de 190°C e 220°C, os quais apresentaram os melhores resultados para ambas as espécies estudadas.

As propriedades mecânicas (MOR e MOE) foram alteradas positivamente pelo processo de termorreificação, apresentando resultados superiores ao controle, demonstrando que os tratamentos térmicos foram efetivos para a preservação da resistência da madeira durante o período de exposição no campo de apodrecimento.

As propriedades físicas da madeira foram melhoradas pelos tratamentos térmicos que se mostraram eficientes na manutenção de tais propriedades ao longo do período de exposição em campo de apodrecimento.

A termorreificação em óleo apresentou resultados positivos na manutenção da molhabilidade da madeira e dos parâmetros colorimétricos de ambas as espécies, durante o tempo de exposição em campo de apodrecimento. Portanto, o tratamento térmico aumentou a durabilidade da madeira frente aos danos causados em exposição em campo de apodrecimento.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKYILDIZ, M. H., ATES, A. (2008). "Effect of heat treatment on equilibrium moisture content (EMC) of some wood species in Turkey."
- ARAÚJO, S., VITAL, B., MENDOZA, Z., VIEIRA, T., CARNEIRO, A. (2012). "Propriedades de madeiras termoretificadas de *Eucalyptus grandis* e SP." **Scientia Forestalis** 40(95): 327-336.
- BARBOSA, L. C., MALTHA, C. R., V. L. SILVA, V. L., COLODETTE, J. L. (2008). "Determinação da relação siringila/guaiacila da lignina em madeiras de eucalipto por pirólise acoplada à cromatografia gasosa e espectrometria de massas (PI CG/EM)." **Química Nova** 31(8): 2035-2041.
- BEKHTA, P.; NIEMZ, P. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. **Holzforschung**, v. 57, n. 5, p. 539-546, 2003.
- BOONSTRA, M. J; B. TJEERDSMA (2006). "Chemical analysis of heat treated softwoods." **Holz als Roh-und Werkstoff** 64(3): 204.
- BRISOLARI, A. **Estudo da molhabilidade em madeiras tropicais ou de reflorestamento por medidas de ângulo de contato e de permeabilidade**. 2008. 98f. (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade de São Paulo, São Carlos.
- CABRAL MOULIN, J. M. D. et al. (2015). "Efeito do espaçamento, da idade e da irrigação nos componentes químicos da madeira de eucalipto." **Revista Árvore** 39(1).
- CADEMARTORI, P. H. G. D., MATTOS, B. D., MISSIO, A. L., GATTO, D. A. (2014). "Colour responses of two fast-growing hardwoods to two-step steam-heat treatments." **Materials Research** 17(2): 487-493.
- CADEMARTORI, P. H., et al. (2013). "Thermal modification of *Eucalyptus grandis* wood: variation of colorimetric parameters." **Maderas. Ciencia y tecnología** 15(1): 57-64.
- CALONEGO, F. W., SEVERO, E. T. D., BALLARIN, A. W. (2012). "Physical and mechanical properties of thermally modified wood from *E. grandis*." **European Journal of Wood and Wood Products** 70(4): 453-460.
- CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. (2001). "A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira."
- CARDOSO, E., TSAI, S. M., NEVES, M. C. P. (1992). *Microbiologia do solo*, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Campinas.
- CARVALHO, W., CANILHA, L., A. FERRAZ, A., MILAGRES, A. M. F. (2009). "Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira." **Química Nova** 32(8): 1-5.

CAVALCANTE, M. S. (1982). Deterioração biológica e preservação de madeiras, IPT São Paulo.

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

CONTE, B. (2015). "Propriedades tecnológicas de madeiras do gênero *Eucalyptus* submetida a termorreificação em óleo vegetal." Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CONTE, B., MISSIO, A. L., PERTUZZATTI, A., CADEMARTORI, P., GATTO, D. A. (2014). "Propriedades físicas e colorimétricas da madeira termorreificada de *Pinus elliotii* var. *elliottii*." *Scientia Forestalis* 42(104): 555-563.

COSTA, A. D. (1999). Utilização de interações entre produtos químicos preservantes no desenvolvimento de formulações para a prevenção de fungos manchadores e emboloradores na madeira. 1999. 103 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CHRISTIANSEN, A. W. How overdrying wood reduces its bonding to phenol formaldehyde adhesives : a critical review of the literature. Part II, Chemical reactions. **Wood and Fiber Science**, v. 23, n. 1, p. 69-84, 1991.

DEL MENEZZI, C. H. S. Intabilidade dimensional da madeira e seus subprodutos: causas, consequências e prevenção. Brasília: Comunicações técnicas Florestais, 2006. 37 p.

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

DUBEY, M. K., PANG, S., WALKER, J. (2012). "Changes in chemistry, color, dimensional stability and fungal resistance of *Pinus radiata* D. Don wood with oil heat-treatment." *Holzforschung* 66(1): 49-57.

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

ESTEVEZ, B. PEREIRA, H. (2008). "Wood modification by heat treatment: A review." **BioResources** 4 (1): 370-404.

FENGEL, D. WEGENER, G. (2011). Wood: chemistry, ultrastructure, reactions, Walter de Gruyter.

FEIST, W. C. Finishing wood for exterior use. Proceedings 87318 - Finishing Eastern Hardwoods. Iowa: Roy M. Carter - Forest Products Research Society: 185-198 p. 1983.

- FEIST, W. C.; HON, D. N. S. Chemistry of Weathering and Protection. In: ROWELL, R. M. (Ed.). *The Chemistry of Solid Wood, Advances in Chemistry*. Washington: American Chemical Society, 1984. cap. 11, p.401-451.
- FERREIRA, G. C., GOMES, J. I., HOPKINS, M. J. G. (2004). "Estudo anatômico das espécies de Leguminosae comercializadas no estado do Pará como "angelim". **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado (ALICE)**.
- FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION. **ThermoWood Handbook**. Helsinki: Finnish ThermoWood Association, 2003. 66p.
- GIERLINGER, N., D. et al. (2004). "Colour of larch heartwood and relationships to extractives and brown-rot decay resistance." **Trees** **18**(1): 102-108.
- GOMES, J. I., FERREIRA, G. C. (2002). "Durabilidade natural de quatro madeiras amazônicas em contato com o solo." **Embrapa Amazônia Oriental-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**.
- GONÇALEZ, J. C., et al. (2006). "Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira." **Ciência Florestal** **16**(3): 329-341.
- HILL, C. A. (2006). *Wood modification: chemical, thermal and other processes*, John Wiley & Sons.
- HOMAN, W.; TJEERDSMA, B.; BECKERS, E.; JORISSEN, A. Structural and other properties of modified wood. In: *World Conference on Timber Engineering, 2000*, Canada. **Anais do...** Canadá: British Columbia, 2000. 8p.
- HON, D. N.-S. (2001). "Weathering and photochemistry of wood." **Wood and cellulosic chemistry** **2**: 512-546.
- KAČÍKOVÁ, D., KAČÍK, F., ČABALOVÁ, I, ĎURKOVIČ, J. (2013). "Effects of thermal treatment on chemical, mechanical and colour traits in Norway spruce wood." **Bioresource Technology** **144**: 669-674.
- 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.
- KLOCK, U., MUÑIZ, G. D., HERNANDEZ, J. A., ANDRADE, D. (2005). "Química da madeira." Curitiba: UFPR **3**.
- LATORRACA, J. D. F., ALBUQUERQUE, C. D. (2000). "Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira." **Floresta e Ambiente** **7**(1): 279-291.
- LEITHOFF, H., PEEK, R. (1998). "Hitzebehandlung-eine Alternative zum chemischen Holzschutz." **Tagungsband zur** **21**: 97-108.

LEMOS DE MORAIS, S. A., E. A. DO NASCIMENTO AND D. CARRIJO DE MELO (2005). "Análise da madeira de Pinus oocarpa parte I-estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis." **Revista Árvore** 29(3).

LEPAGE, E. (1970). "Método sugerido pela IUFRO para ensaios de campo com estacas de madeira." **Preservação de madeiras** 1(4): 205-216.

MACHADO, S. F. (2016). "PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DAS MADEIRAS DE Melia azedarach L., Cordia americana (L) GOTTSCHLING JS MILL. E Parapiptadenia rigida BENTH SUBMETIDAS À BIODEGRADAÇÃO." Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MATTOS, B. D., et al. (2014). "Biodeterioration of wood from two fast-growing eucalypts exposed to field test." **International Biodeterioration & Biodegradation** 93: 210-215.

MENDES, A. D. S., ALVES, M. D. S. (1988). A degradação da madeira e sua preservação, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, Brasília (Brasil). Dept

MESQUITA, R. R. S. d. (2016). "Comportamento das madeiras de curupixá (Micropholis sp.) e tauari (Couratari sp.) submetidas ao intemperismo artificial com diferentes produtos de acabamento."

MOHEBBY, B. (2003). **Biological attack of acetylated wood**, Cuvillier.

MOMOHARA, I., OHMURA, W., KATO, H., KUBOJIMA, Y. (2003). Effect of high-temperature treatment on wood durability against the Brown-rot fungus, Fomitopsis palustris, and the térmite, Coptotermes formosanus. 8th International IUFRO **wood drying conference**.

MORESCHI, J. C. (2013). "Biodegradação e preservação da madeira." 4ª edição. Curitiba, PR: UFPR.

MORSELLI, T. (2009). "Biologia do solo." Pelotas: Ed. Universitária UFPel/PREC.

MELO, R. R., D. M. et al. (2010). "Durabilidade natural da madeira de três espécies florestais em ensaios de campo." **Ciência Florestal** 20(2): 357-365.

MORAIS, S. A. L., MELO, N. D. C(2005). "Análise da madeira do Pinus oocarpa parte II: caracterização estrutural da lignina de madeira moída." **Revista Árvore** 29: 471-478.

MOURA, L. F., BRITO, J. O. (2011). "Effect of thermal rectification on colorimetric properties of Eucalyptus grandis and Pinus caribaea var. hondurensis woods." **Scientia Forestalis** 39(89): 69-76.

NUSSBAUM, R. M. Natural surface inactivation of Scots pine and Norway spruce evaluated by contact angle measurements. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 57, n. 6, p. 419-424, 1999.

OLIVEIRA M, C. L. S., et al. (2004). "Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos." **Ciência Florestal** 14(2): 123-132.

OLIVEIRA, J. T. L. et al. (2005). "Influência dos extrativos na resistências ao apodrecimento de seis espécies de madeira." **Revista Árvore** 29(5).

OLIVEIRA, A., et al. (1986). "Agentes destruidores da madeira." **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT 1: 99-279.

OLIVEIRA, J., PASTORE, T. C. M., JUNIOR, P. F. (2007). "Resistência ao intemperismo artificial de cinco madeiras tropicais e de dois produtos de acabamento." **Ciência Florestal** 17(1): 17-23.

PAES, J., P. N. et al. (2013). "Efeitos dos extrativos e cinzas na resistência natural de quatro madeiras a cupins xilófagos." **Cerne** 19(3).

PAES, J. B., DE MELO, R. R., DE LIMA, C. R. (2007). "Resistência natural de sete madeiras a fungos e cupins xilófagos em condições de laboratório." **Cerne** 13(2).

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

PÉTRISSANS, M.; GÉRARDIN, P.; BAKALI, I. E.; SERRAJ, M. Wettability of heattreated wood. **Holzforschung**, v. 57, n. 3, p. 301-307, 2005.

PERTUZZATTI, A., et al. (2015). "Alterações físicas e superficiais da madeira de canemaçu (*Tetrorchidium rubrivenium*) termorretificada." Revista Brasileira de Ciências Agrárias 10(1).

RAPP, A., SAILER, M. (2004). Oil Heat Treatment of Wood in Germany—State of the art. Review on Heat Treatment of wood, Cost Action E 22. Proceeding of Special Seminar Held in Antibes.

RASCHE, F., CADISCH, G. (2013). "The molecular microbial perspective of organic matter turnover and nutrient cycling in tropical agroecosystems-What do we know?" **Biology and fertility of soils** 49(3): 251-262.

RITTER, M. A. (1990). "Timber bridges: Design, construction, inspection, and maintenance."

ROCHA, M. P. d. (2001). "Biodegradação e preservação da madeira." Curitiba: Fupef.

RODRIGUES, C., CAMARGO, J. (2008). "Bagaço de cana-de-açúcar como potencial para co-geração de energia elétrica e etanol celulósico." São Joaquim da Barra: Colégio Iara, Coimbra.

ROWELL, R. M., IBACH, R. E., MCSWEENEY, J., NILSSON, T. (2009). "Understanding decay resistance, dimensional stability and strength changes in heat-treated and acetylated wood." **Wood material science and engineering** 4(1-2): 14-22.

RUBEM, É. G. (2014). "Estudo da ação do intemperismo natural e artificial nos componentes químicos do lenho de três espécies madeireiras da Amazônia por espectroscopia de infravermelho próximo (FT-NIR)."

SANTOS, I. D. (2008). "Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e na contração da madeira e no rendimento e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado."

SHARRATT, V., HILL, C. A., ZAIHAN, J., KINT, D. P. (2010). "Photodegradation and weathering effects on timber surface moisture profiles as studied using dynamic vapour sorption." **Polymer Degradation and Stability** 95(12): 2659-2662.

SINGH, T., SINGH, A. P. (2012). "A review on natural products as wood protectant." **Wood Science and Technology** 46(5): 851-870.

SRINIVAS, K., PANDEY, K. K. (2012). "Effect of heat treatment on color changes, dimensional stability, and mechanical properties of wood." **Journal of Wood Chemistry and Technology** 32(4): 304-316.

TOLVAJ, L., NEMETH, R., PASZTORY, Z., BEJO, L., TAKATS, P. (2014). "Colour stability of thermally modified wood during short-term photodegradation." **BioResources** 9(4): 6644-6651.

TREVISAN, H., MARQUES, F. M. T., DE CARVALHO, A. G. (2008). "Degradação natural de toras de cinco espécies florestais em dois ambientes." **Floresta** 38(1).

TRUGILHO, P. F. et al. (2015). "Características de crescimento, composição química, física e estimativa de massa seca de madeira em clones e espécies de Eucalyptus jovens." **Ciência Rural** 45(4): 661-666.

VIVIAN, M. A., et al. (2014). "Resistência biológica da madeira tratada de duas espécies de Eucalyptus em ensaio de campo." **Pesquisa Florestal Brasileira** 34(80): 425-433.

VIVIAN, M. A., et al (2015). "Resistência biológica da madeira tratada de Eucalyptus grandis e Eucalyptus cloeziana a fungos apodrecedores em ensaios de laboratório." **Ciência Floresta** 25(1): 175-183.

WINDEISEN, E., STROBEL, C., WEGENER, G. (2007). "Chemical changes during the production of thermo-treated beech wood." **Wood Science and Technology** 41(6): 523-536.

YILDIZ, S., GÜMÜŞKAYA, E 2007). "The effects of thermal modification on crystalline structure of cellulose in soft and hardwood." **Building and Environment** 42(1): 62-67.

ZOBEL, B. J., JETT, J. B. (2012). Genetics of wood production, **Springer Science & Business Media**.

8. APÊNDICES

Apêndice A: Fixa da análise de solos do local do campo de apodrecimento.

Registro	Cx.	Cel.	Identificação da amostra	Área (ha)	Sistema de cultivo	Prof. (cm)	Georref.
1712	C30	22	01 VIVEIRO	36	Convencional	0-20 cm	

Diagnóstico para acidez do solo e calagem

Registro	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP
		cmol/dm ³					Al	Bases	
1712	5,3	6,5	1,7	0,3	3,5	8,8	3,4	70,8	6,2

Diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S

Registro	% MO	% Argila	Textura	S	P-Mehlich	C Total*	K	CTC pH7	K
	m/v			mg/dm ³			g.kg ⁻¹	cmol/dm ³	
1712	1,9	38,0	3,0	12,5	3,7	--X--	0,317	12,0	124,0

Diagnóstico para micronutrientes e relações molares

Registro	Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relações Molares		
	mg/dm ³						Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg) ^{1/2}
1712	1,8	2,0	0,5	--X--	--X--	--X--	3,9	25,80	0,111

S Vinculado à ROLAS-RS/SC

PESQUISA
ESTE LAUDO NÃO VALE
FINANCIAMENTO BANCÁRIO

Leandro Souza da Silva
Responsável Técnico

Eng. gr. Leandro Souza da Silva
CREA: 83495

*DETERMINADO EM ANALISADOR ELEMENTAR-COMBUSTÃO SECA

Apêndice B: Tabela da ANOVA Fatorial de Índice de Comportamento (IC) para as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA IC *Eucalyptus cloeziana*

FV	SQ	GL	QM	F	Sig.
TRATAMENTOS	1925,732	8	240,717	7,054	,000
COLETA	2002,863	4	500,716	14,674	,000
MATERIAL*TRATAMENTOS	1497,066	32	46,783	1,371	,093
ERRO	10612,500	311	34,124		
TOTAL	3261300,000	356			
TOTAL CORRIGIDO	16018,820	355			

a. R Squared = ,337 (Adjusted R Squared = ,244)

ANÁLISE DE VARIÂNCIA IC *Eucalyptus grandis*

FV	SQ	GL	QM	F	Sig.
TRATAMENTOS	5727,833	8	715,979	6,260	,000
COLETA	8067,970	4	2016,993	17,637	,000
MATERIAL*TRATAMENTOS	6674,825	32	208,588	1,824	,006
ERRO	33280,119	291	114,365		
TOTAL	2867700,000	336			
TOTAL CORRIGIDO	53525,893	335			

a. R Squared = ,378 (Adjusted R Squared = ,284)

Em que: FV = Fonte de variação; GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrado médio; F = F calculado; Sig = significância ao nível de 5% de probabilidade de erro. Fonte Autora.

Apêndice C: Tabela da ANOVA Fatorial de Perda de Massa (PM%) para as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PERDA DE MASSA <i>Eucalyptus cloeziana</i>					
FV	SQ	GL	QM	F	Sig.
TRATAMENTOS	159,714	8	19,964	34,500	,000
COLETA	107,909	3	35,970	62,159	,000
MATERIAL*TRATAMENTOS	42,208	24	1,759	3,039	,000
ERRO	130,779	226	,579		
TOTAL	1382,258	262			
TOTAL CORRIGIDO	422,920	261			

a. R Squared = ,691 (Adjusted R Squared = ,643)

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PERDA DE MASSA <i>Eucalyptus grandis</i>					
FV	SQ	GL	QM	F	Sig.
TRATAMENTOS	185,047	8	23,131	26,632	,000
COLETA	147,662	3	49,221	56,672	,000
MATERIAL*TRATAMENTOS	71,345	24	2,973	3,423	,000
ERRO	174,574	201	,869		
TOTAL	1953,624	237			
TOTAL CORRIGIDO	579,903	236			

a. R Squared = ,699 (Adjusted R Squared = ,647)

Em que: FV = Fonte de variação; GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrado médio; F = F calculado; Sig = significância ao nível de 5% de probabilidade de erro. Fonte Autora.

Apêndice D: Tabela da ANOVA Fatorial do Modulo de Elasticidade e do Módulo de ruptura para as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA MOE <i>Eucalyptus Cloeziana</i>					
FV	GL	SQ	QM	F	Sig.
TRATAMENTOS	8	8,060212697E+0009	1,01E+09	4,083	0,0001
COLETAS	4	5,006612479E+0009	1,25E+09	5,072	0,0006
TRATAMENTOS *COLETAS	32	8,656625555E+0009	270519548,6	1,096	0,3388
ERRO	239	5,898313001E+0010	246791339		
Total corrigido	283	8,070658074E+0010			
CV (%) = 12,95					
Média geral: 121338,3662					
Número de observações: 284					

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA MOR <i>Eucalyptus Cloeziana</i>					
FV	GL	SQ	QM	F	Sig.
TRATAMENTOS	8	6474290,868	809286,3585	14,545	0
COLETAS	4	662765,5287	165691,3822	2,978	0,02
TRATAMENTOS*COLETAS	32	2243210,491	70100,32785	1,26	0,1688
ERRO	239	13297725,99	55639,0209		
Total corrigido	283	22677992,88			
CV (%) = 25,03					
Média geral:942,4598592					
Número de observações: 284					

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA MOE <i>Eucalyptus Grandis</i>					
FV	GL	SQ	QM	F	Sig.
TRATAMENTOS	8	4,116304568E+10	5,14538071E+09	10,768	0
COLETAS	4	2,165544605E+10	4,33108921E+09	9,064	0
TRATAMENTOS *COLETAS	32	1,278131367E+10	4,26043789E+08	0,892	0,6331
ERRO	229	1,094255014E+11	4,77840617E+08		
Total corrigido	272	1,850253068E+11			
CV (%) = 19,45					
Média geral: 112395,8791209					
Número de observações: 273					

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA MOR <i>Eucalyptus Grandis</i>					
FV	GL	SQ	QM	F	Sig.
TRATAMENTOS	8	2763746,087795	345468,260974	5,579	0,0000
COLETAS	4	1741939,322408	348387,864482	5,626	0,0001
TRATAMENTOS *COLETAS	32	967719,197550	32257,306585	0,521	0,9825
ERRO	229	14180063,817595	61921,676059		
Total corrigido	272	19653468,425348			
CV (%) = 30,01					
Média geral: 829,1739927					
Número de observações: 273					

Apêndice E -Tabela da ANOVA Fatorial de Eficiência de Repelência a Água (WRE%) para as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA WRE% *Eucalyptus cloeziana*

FV	SQ	GL	QM	F	Sig.
TRATAMENTOS	48622,151	7	6946,022	40,292	,000
COLETAS	5842,275	4	1460,569	8,472	,000
TRATAMENTOS * COLETAS	2799,515	28	99,983	,580	,953
ERRO	24479,810	142	172,393		
TOTAL	255399,867	182			
TOTAL CORRIGIDO	83990,326	181			

a. R Squared = ,709 (Adjusted R Squared = ,628)

ANÁLISE DE VARIÂNCIA WRE% *Eucalyptus grandis*

FV	SQ	GL	QM	F	Sig.
TRATAMENTOS	9261,749	7	1323,107	5,668	,000
COLETAS	9337,836	4	2334,459	10,000	,000
TRATAMENTOS * COLETAS	5727,029	28	204,537	,876	,646
ERROR	26847,178	115	233,454		
TOTAL	314096,356	155			
TOTAL CORRIGIDO	53573,735	154			

a. R Squared = ,499 (Adjusted R Squared = ,329)

Em que: FV = Fonte de variação; GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrado médio; F = F calculado; Sig = significância ao nível de 5% de probabilidade de erro. Fonte Autora.

Apêndice F -Tabela da ANOVA Fatorial de do ângulo de contato ($^{\circ}$) a 10 segundos para as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA [$^{\circ}$] (ÂNGULO A 10 SEGUNDOS *Eucalyptus cloeziana*)

FV	SQ	GL	QM	F	Sig.
TRATAMENTOS	12584,546	8	1573,068	7,801	,000
COLETAS	38071,527	4	9517,882	47,197	,000
TRATAMENTOS * COLETAS	33628,500	32	1050,891	5,211	,000
ERROR	123214,923	611	201,661		
TOTAL	7403009,887	656			
TOTAL CORRIGIDO	206112,343	655			

a. R Squared = ,402 (Adjusted R Squared = ,359)

ANÁLISE DE VARIÂNCIA [$^{\circ}$] (ÂNGULO A 10 SEGUNDOS *Eucalyptus grandis*)

FV	SQ	GL	QM	F	Sig.
TRATAMENTOS	3235,613	8	404,452	1,953	,050
COLETAS	68435,813	4	17108,953	82,630	,000
TRATAMENTOS * COLETAS	21562,859	32	673,839	3,254	,000
ERROR	119470,085	577	207,054		
TOTAL	5748102,443	622			
TOTAL CORRIGIDO	208990,399	621			

a. R Squared = ,428 (Adjusted R Squared = ,385)

Em que: FV = Fonte de variação; GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrado médio; F = F calculado; Sig = significância ao nível de 5% de probabilidade de erro. Fonte Autora.

Apêndice G - Aspecto da madeira de *Eucalyptus cloeziana* termorretrificada em óleo e exposta ao campo de apodrecimento.



Apêndice H: Aspecto da madeira de *Eucalyptus grandis* termorretrificada em óleo e exposta ao campo de apodrecimento.

