



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**ANA CARLA BEZERRA DE LIMA**

**EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE  
MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

2019

ANA CARLA BEZERRA DE LIMA

**EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE  
MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais. Orientador: Prof. D.Sc. Juarez Benigno Paes  
Coorientador: Prof. D.Sc. Djeison Cesar Batista.

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

2019

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de  
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

L732e Lima, Ana Carla Bezerra de, 1992-  
Efeito da modificação térmica nas propriedades da madeira  
de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) / Ana Carla  
Bezerra de Lima. - 2019.  
82 f. : il.

Orientador: Juarez Benigno Paes.  
Coorientador: Djeison Cesar Batista.  
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) –  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências  
Agrárias e Engenharias.

1. Madeira. 2. Tratamento térmico. 3. Características  
tecnológicas. I. Paes, Juarez Benigno. II. Batista, Djeison Cesar.  
III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências  
Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 630

---

**EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE  
MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**

**Ana Carla Bezerra de Lima**

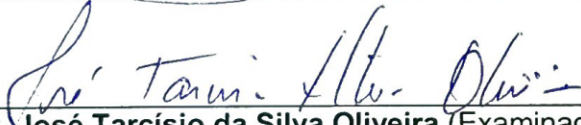
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 30 de abril de 2019.



---

**Prof.ª. Dr.ª. Rosilei Aparecida Garcia** (Examinadora externa)  
Universidade Federal do Rural do Rio de Janeiro



---

**Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira** (Examinador interno)  
Universidade Federal do Espírito Santo



---

**Prof. Dr. Juarez Benigno Paes** (Orientador)  
Universidade Federal do Espírito Santo

Nas areias da minha tristeza,  
nasci. Nasci pequeno, rústico, nasci com espinhos que não foram feitos  
para machucar.  
Nas areias da minha tristeza,  
cresci. No solo árido e seco mantive-me, mesmo quando o calor sugava-me as  
esperanças  
de  
sobreviver. A cada raio de sol que em mim pousava, sentia-me no dever de  
ser mais forte, foi  
então  
que mais espinhos eu criei, que sorte! Nas areias da minha  
tristeza, evolui.  
Mantive-me firme e consistente, não importava o que viesse pela frente.  
Enfrentei com resiliência cada estação, mais espinhos criei, e eles  
sempre foram a minha  
proteção. Superei o insuperável e ultrapassei o inimaginável, amadureci.  
Aprendi que tudo é passageiro, a dor também. Que quando você se mantém  
forte,  
não teme o que pela frente  
vem. Aprendi que não se cultiva a fragilidade e que a superação nos faz  
ser vigoroso. Aprendi que mesmo sendo um cacto, também poderia ser  
querencoso.  
Nas areias da minha tristeza, floresci, e sou uma das flores mais bonitas e  
resistentes, que já  
conheci. Ela é cacto, mas  
também dá flor!

Luana Pacheco Neukamp

Aos meus amados pais, Carlos Roberto de Lima e Tânia Maria Bezerra de Lima, que não medem esforços para a realização dos meus sonhos, por todo amor, compreensão e apoio nessa jornada, assim como a todos os amigos, em especial aos que fiz nesse período. Serei eternamente grata a vocês por dividirem comigo as dores e os amores desta vida.

**Carinhosamente dedico!**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, inteligência suprema e causa primária de todas as coisas, por todas as oportunidades concedidas, pelo dom da vida e por nunca me abandonar; por me proporcionar tamanha felicidade, dando-me forças para chegar ao fim desta etapa.

À Universidade Federal do Espírito Santo, ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela oportunidade para a realização deste trabalho.

À empresa Fibria Celulose S.A. e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudo (Código de Financiamento 001).

À Companhia Vale S.A., em especial à Jackeceli Rizzo, pela disponibilidade e pela ajuda na logística durante a doação da madeira de mogno africano utilizada neste estudo e pelo suporte prestado.

Ao Professor Dr. Juarez Benigno Paes, pela amizade, paciência, disponibilidade e orientação; e ao Professor Dr. Djeison Cesar Batista, pela coorientação, disponibilidade, amizade, conselhos, dedicação, conhecimentos transmitidos, e por sempre se fazer presente ao longo dessa coorientação. Assim como aos demais membros da Banca Examinadora, Professor Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira e Professora Dr<sup>a</sup>. Rosilei Aparecida Garcia pelas sugestões e contribuições.

Aos professores do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira, Dr. Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho, Dr. Fabricio Gomes Gonçalves e Dr<sup>a</sup>. Graziela Baptista Vidairre que de alguma forma, contribuíram para minha formação acadêmica e a realização desta Dissertação, e principalmente pelos seres humanos que são. Em vocês encontrei amigos, os quais espero levar para a vida. Ao professor Dr. Alexandre Miguel, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pelo espaço, atenção e dedicação concedidos, para realização de análises.

Aos técnicos Elecy, José Geraldo, Calebe, Luciano e Damielle pela ajuda, conselhos e paciência, e aos funcionários e prestadores de serviços do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, em especial à vigilância, por

contribuírem todos os dias ao menos com um “bom dia” ou “boa noite”, sorriso no rosto e pelas conversas.

A Prof<sup>a</sup>. Maria do Socorro Vieira, por toda sua dedicação e paciência durante a correção e revisão da escrita desse texto, muito obrigada por suas palavras de apoio e carinho de sempre.

Aos meus familiares, Carlos Roberto de Lima, Tânia Maria Bezerra de Lima, Francisquinha Bezerra Leite, Yoma de Azevedo Leite, Yan Fabio de Azevedo Leite e a Jânio de Azevedo Barbosa (*in memoriam*), que sempre me incentivaram e me deram suporte emocional para buscar meus sonhos e jamais desistiram deles por mim ou me deixaram cogitar essa possibilidade. As “coroas” Tia Riane e Tia Erta, que fizeram das suas casas, minha casa e meu porto seguro nesses dois anos, por toda cumplicidade e preocupação que tiveram comigo, essa titulação foi por vocês e por todas as dificuldades que passamos principalmente nesses últimos dois anos.

A todos os meus amigos por toda paciência, dedicação, força e carinho que me ajudaram a aguentar todos os perrengues, que me acolheram tão bem e me fazem querer ficar, em especial: Lais, Victor, Thyago, Ana Ligia, Amanda, Anna Karenyna, Emanuely, Israel, Alda, Gustavo, Cadmo, Glaucileide, Roldão, Roberto, Jaily, Edilson, Fagner, Larissa Lopes, Lhorrayne, João Gabriel, Sofia, Lourdes, Naruna, Ramon, Lourenzo, Lucas, Camilla, Ana Paula, Jean, Daiana, Rodrigo, Rhutle, Grilo, Bruna, Dina e família, Fran, Rita, Tais, Kaise, Emanuell, Robson, Larissa, Mariana, Dona Marina, Nete e, a todos aqueles que de forma direta ou indireta colaboraram para a realização deste trabalho.

As irmãs que ganhei em 2017, sem as quais minha jornada aqui teria sido muito, mas muito difícil, por toda paciência, por terem sido minha família, minhas cúmplices, ao me darem conselhos e sermões. Vocês me ajudaram e estiveram comigo do começo ao “fim”, por isso tiro meu chapéu para vocês, porque reconheço que não sou uma pessoa fácil de lidar, então, minha eterna gratidão, a vocês : Quétilla, Joyce e Daniela.



## RESUMO

LIMA, Ana Carla Bezerra de. **EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: D.Sc. Juarez Benigno Paes. Coorientador: D.Sc. Djeison Cesar Batista.

O Brasil é reconhecido por possuir uma das maiores biodiversidades do mundo. Em relação aos recursos florestais, a madeira é um dos principais. O mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*) em decorrência da exploração, encontra-se escasso e, portanto, há diminuição da oferta e aumento de preços no mercado nacional e internacional e, também por ser atacado pela *Hypsipyla grandella* (broca-do-ponteiro). A fim de contornar tais problemas, foi introduzido no Brasil, o mogno africano (*Khaya* sp.). Houve uma boa aceitação do mercado, por ter características semelhantes ao mogno brasileiro e ser resistente à broca-do-ponteiro, motivando o crescimento das áreas plantadas no Brasil. Com tal potencial econômico, mas com carências em relação a trabalhos que abordem o conhecimento tecnológico dessa madeira. Desta forma, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito da modificação térmica nas propriedades da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis*). Foram avaliadas a posição de amostragem alburno/cerne e cerne interno e a temperatura de modificação térmica. Avaliou-se o efeito das temperaturas de modificação térmica na colorimetria; química; propriedades físicas e mecânicas e, realizados ensaios biológicos com térmitas (madeira seca e subterrânea). Para os tratamentos térmicos realizados (180 e 200 °C) foi percebido um realce na cor da madeira de mogno africano, tendo adquirido uma coloração mais uniforme. A madeira modificada termicamente tornou-se menos higroscópica, dimensionalmente mais estável e menos densa, para ambas as temperaturas (180 e 200 °C). O teor de umidade de equilíbrio, densidade aparente e inchamento tangencial diminuíram com o aumento da temperatura de 180 para 200 °C. Quanto aos módulos de elasticidade (rigidez), tanto estático como o dinâmico, constatou-se, de forma geral, que aumentaram com a elevação das temperaturas dos tratamentos térmicos (180 e 200 °C). A temperatura mais indicada para a melhoria da resistência da madeira a térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*) e subterrâneas (*Nasutitermes corniger*) foi a de 180 °C, por promover maior mortalidade e a morte mais rápida dos insetos. Assim a temperatura de 180 °C foi a mais favorável para a modificação térmica da madeira de mogno africano testada.

**Palavras-chave:** Madeira, tratamento térmico, características tecnológicas.

## ABSTRACT

LIMA, Ana Carla Bezerra de. **Effect of thermal modification on the properties of African mahogany (*Khaya ivorensis* A. Chev.) wood.** 2019. Dissertation (Master in Forest Science) - Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: D.Sc. Juarez Benigno Paes. Co-advisor: D.Sc. Djeison Cesar Batista

Brazil is recognized for having one of the largest biodiversity in the world. In relation to forest resources, wood is one of the main. The Brazilian monkey (*Swietenia macrophylla*) as a result of the exploitation, is scarce and, therefore, the reduction of the supply and increase of prices in the national and international market and also by being attacked by *Hypsipyla grandella* (pointer drill). Aiming to circumvent such problems was introduced in Brazil, the African mahogany (*Khaya* sp.). There was a good acceptance of the market, having characteristics similar to Brazilian mahogany and being resistant to pointer drill, motivating the growth of planted areas in Brazil. With such economic potential but with shortcomings in relation to works that address the technological knowledge of this wood. Thus, this research aimed to evaluate the effect of the thermal modification on the properties of African mahogany (*Khaya ivorensis*). For both, were evaluated the sampling position of the pieces in the logs, in two levels and thermal modification temperature. The effect of the thermal modifications on the technological properties was evaluated on colorimetry; chemical analysis; physical and mechanical properties, and termites biological tests were carried out (dry wood and subterranean termites). For the thermal treatments performed (180 and 200 °C) a color enhancement of African mahogany wood was observed, and a more uniform color was obtained. Thermally modified heartwood became less hygroscopic, dimensionally more stable and less dense, at both temperatures (180 and 200 °C). The moisture content of equilibrium, apparent density and tangential swelling decreased with increasing temperature from 180 to 200 °C. As for the elastic modulus (stiffness), both static and dynamic, it was generally observed that they increased with the elevation of the thermal treatment temperatures (180 and 200 °C). The best temperature for the improvement of wood resistance to dry wood termites (*Cryptotermes brevis*) and subterranean termites (*Nasutitermes corniger*) was 180 °C, as it promoted higher mortality and faster death of insects. Finally the temperature of 180 °C was the most favorable for the thermal modification of tested African mahogany wood.

**Keywords:** African mahogany, heat treatment, technological characteristics.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	12
1.1	OBJETIVO GERAL	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	15
2.1	MOGNO AFRICANO	15
2.2	MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA	16
2.3	COLORIMETRIA	17
2.4	PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA	18
2.5	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA	20
2.6	DURABILIDADE NATURAL	22
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	24
3.1	COLETA E AMOSTRAGEM DO MATERIAL	24
3.2	MODIFICAÇÃO TÉRMICA	25
3.3	COLORIMETRIA E PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS	28
3.4	PROPRIEDADES FÍSICAS	30
3.5	PROPRIEDADE MECÂNICA (FLEXÃO ESTÁTICA)	31
	3.5.1 Ensaio não destrutivo ( <i>Stress Wave Timer</i> )	31
	3.5.2 Ensaio destrutivo	32
3.6	ANÁLISES QUÍMICAS DA MADEIRA	33
3.7	ENSAIOS BIOLÓGICOS COM TÉRMITAS	33
	3.7.1 Alimentação forçada com térmitas de madeira seca	33
	3.7.2 Preferência alimentar com térmitas de madeira seca	34
	3.7.3 Ensaio de alimentação forçada com térmitas subterrâneas	35
3.8	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	36
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	38
4.1	COLORIMETRIA	38
4.2	PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA	42
	4.2.1 Teor de umidade e densidades aparente e básica da madeira	42
	4.2.2 Contrações da madeira de mogno africano	44
	4.2.3 Inchamento da madeira de mogno africano	47
	4.2.4 Anisotropia da madeira de mogno africano	49
4.3	PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA	50
	4.3.1 Ensaios não destrutivos e destrutivos da madeira	50
	4.3.2 Correlações entre ensaios destrutivos e não destrutivos	51
4.4	QUÍMICA DA MADEIRA	54
4.5	ENSAIOS BIOLÓGICOS COM TÉRMITAS	57
	4.5.1 Ensaio com térmitas de madeira seca	57
	4.5.2 Ensaio de alimentação forçada com térmitas subterrâneas	59

<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>61</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é reconhecido por possuir uma das maiores biodiversidades do mundo. Em relação aos recursos florestais, a madeira é um dos principais deles. Esse material está presente desde o início na história da humanidade, e tem uma demanda crescente na atualidade por ser utilizada na construção civil, na produção de móveis, de celulose e papel, de painéis reconstituídos, de instrumentos musicais e para energia. Dessa forma, ela tem importância em vários setores da economia mundial.

Sabe-se que as árvores possuem mecanismos fisiológicos de desenvolvimento que as auxiliam contra os ataques de pragas e doenças. No entanto, segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel - BRACELPA (2011), madeiras provenientes de reflorestamentos, apesar de possuírem uma tecnologia direcionada para melhoramento genético, estão mais propensas aos ataques de organismos xilófagos, quando expostas a condições ambientais favoráveis.

O Brasil possui uma das maiores áreas de florestas plantadas do mundo, em que o eucalipto é a principal espécie. O país totalizou 7,84 milhões de hectares de florestas plantadas em 2016, com crescimento de 0,5% em relação ao ano de 2015, segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2017).

Segundo a Associação Brasileira de Florestas Plantadas - ABRAF (2013), apesar da existência de grandes áreas com plantios comerciais de eucalipto e pinus, também há interesse por outras espécies florestais. Dentre as exóticas, destacam-se as espécies de acácia-negra (*Acacia mearnsii*), teca (*Tectona grandis*), acácia mangium (*Acacia mangium*), mogno africano (*Khaya* spp.), algaroba (*Prosopis juliflora*), nim (*Azadirachta indica*) e cedro australiano (*Toona ciliata*). Dentre as nativas, a seringueira (*Hevea brasiliensis*), o paricá (*Schizolobium amazonicum*) e o pinheiro-do-Paraná (*Araucaria angustifolia*).

O Brasil lidera o *ranking* global de produtividade florestal. Contudo, são necessários estudos sobre as propriedades das madeiras provenientes de reflorestamentos com o intuito de substituir, mesmo que parcialmente, as espécies de florestas nativas (IBÁ, 2016). Em termos silviculturais e de produção das espécies, o Brasil é referência mundial. Sendo comprovado pelo crescimento satisfatório de plantios jovens de espécies menos tradicionais na silvicultura brasileira, tal como o mogno africano, estabelecidos principalmente no estado de

Minas Gerais (RIBEIRO et al., 2017).

Segundo o Instituto Brasileiro de Florestas - IBF (2019) , há no País cerca de 30 mil hectares de mogno africano plantados, importante pelo seu valor econômico, uma vez que em cada hectare, após com 12 e 17 anos, pode obter 193,32 m<sup>3</sup> de madeira serrada, com um valor de mercado de cerca de 4.620,00 reais o m<sup>3</sup> (1,00 dolar americano = R\$ 3,93, cotação de 19/04/2019).

Dessa forma, estudos sobre as características das madeiras provenientes de reflorestamentos são importantes para definir usos mais adequados e a sua viabilidade econômica. Assim, são de interesse do setor florestal, pesquisas que demonstrem processos preservativos, que melhorem a resistência a agentes deterioradores dessas madeiras (BOTELHO, 2011; MIRANDA, 2012), sem agredir o ambiente.

Os processos convencionais, comumente utilizados para o tratamento da madeira, apesar de sua eficiência, vêm tendo seu uso restringido em função de utilizarem produtos químicos danosos ao ser humano, aos animais e ao ambiente, como os compostos de cromo e arsênio. Pela toxidez, esses produtos exigem cuidados durante o manuseio e o descarte das embalagens, assim como no descarte ou na reciclagem da madeira tratada (KARTAL et al., 2015; LIN et al., 2009; WANG et al., 2016). Por isso, são de interesse mundial as pesquisas que envolvam outros métodos de prolongar a vida útil da madeira, com menores risco e impacto ambiental, como os tratamentos térmicos.

A modificação térmica visa à proteção da madeira sem a necessidade da utilização de produtos químicos nocivos ao ser humano, aos animais e ao ambiente, o que é uma vantagem em relação aos produtos utilizados industrialmente. Ao contrário da madeira tratada quimicamente, a modificada termicamente pode ser empregada em outras finalidades após o período de vida útil (ESTEVES; PEREIRA, 2009; HILL, 2006; PAES et al., 2016).

Os processos de modificação térmica têm gerado resultados satisfatórios, principalmente quando há a necessidade de melhorias na durabilidade da madeira, higroscopicidade e estabilidade dimensional (CALONEGO; SEVERO; BALLARIN, 2012; ESTEVES; DOMINGOS; PEREIRA, 2007; JÄMSÄ; VIITANIEMI, 1998; KAMDEM; PIZZI; JERMANNAUD, 2002). Além dessas características, os processos também escurecem a madeira, podendo agregar valor aos produtos, principalmente

os provenientes de madeiras jovens e claras.

A madeira modificada termicamente tem ampla aceitação comercial na Europa, onde são encontrados os principais processos patenteados. As principais diferenças entre eles são, basicamente, a utilização ou não de nitrogênio e a presença ou ausência de vapor (MILITZ; TJEERDSMA, 2001). Os processos mais conhecidos são; *Oil Heat Treatment* – OHT (Alemanha), *Retification*® e *Perdure*® (França); *ThermoWood*® (Finlândia) e *Plato*® *Wood* (Holanda) (BATISTA, 2019; MILITZ; TJEERDSMA, 2001; OLTEAN; TEISCHINGER; HANSMANN, 2007; RAPP; SAILER, 2001).

Em contrapartida, a modificação térmica diminui a resistência mecânica da madeira e as pesquisas relacionadas à resistência biológicas têm se concentrado, em avaliar a resistência a fungos xilófagos (BAZYAR, 2012; CAO et al., 2011). Em decorrência disso, são necessárias pesquisas que visem avaliar os efeitos da modificação térmica na resistência a térmitas, especificamente, aqueles que atacam madeira seca e, pesquisas que investiguem variações na cor do produto final. Desta forma, esta pesquisa visou verificar os efeitos da modificação térmica na colorimetria, química, propriedades físicas e mecânicas e resistência biológica da madeira a térmitas xilófagas.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito da modificação térmica nas propriedades da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis*).

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar a colorimetria da madeira (alburno/cerne e cerne interno), natural e modificada termicamente;

Verificar o efeito da modificação térmica na estabilidade dimensional, densidades aparente e básica, na composição química e flexão estática da madeira;

Analisar a resistência da madeira e o efeito da modificação térmica ao ataque de térmitas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MOGNO AFRICANO

De acordo com Barroso (1987), o gênero *Khaya* pertence à família *Meliaceae*, que compreende 51 gêneros que abrangem aproximadamente 1.400 espécies. Sendo 60% das espécies desse gênero faz parte da economia florestal de vários países.

O mogno africano (*Khaya* sp.) foi introduzido no Brasil em 1976, na região Norte, com o intuito de substituir o mogno (*Swietenia macrophylla*), que já havia sido bastante explorado (FRANÇA, 2014). Os plantios brasileiros de mogno africano estão distribuídos pelos estados do Pará, Mato Grosso, São Paulo, Minas Gerais e Goiás (PINHEIRO et al., 2011). A frutificação do mogno africano ocorre por volta do sétimo ano de idade. A árvore possui rápido incremento em diâmetro e suporta bem condições de estiagem, em média de cinco meses por ano (TEIXEIRA, 2011).

Houve uma boa aceitação do mercado ao mogno africano por ter características semelhantes ao mogno e ser resistente à broca-do-ponteiro (*Hypsipyla grandella*), principal praga do mogno (FRANÇA, 2014). Por ter uma madeira com boas propriedades (cor, grã, propriedades físicas e mecânicas), o mogno africano pode ser utilizado para diversos produtos, satisfazendo os padrões de qualidade do mercado e motivando o crescimento das áreas plantadas no Brasil (PINHEIRO et al., 2011).

Existem seis espécies catalogadas de mogno africano e, dentre essas, as duas mais implantadas no Brasil são *Khaya ivorensis* A. Chev. e *Khaya senegalensis* Desr. (A. Juss.). Segundo Nikiema e Pasternak (2008) citados por França (2014), as madeiras desses mognos possuem características de cerne marrom-rosado, madeira levemente pesada e densidade aparente (12%) variando entre 0,62 a 0,81 g cm<sup>-3</sup>. O cerne é moderadamente resistente ao ataque de cupins e o alburno é moderadamente resistente à impregnação.

A madeira é valorizada para indústria moveleira, marcenaria em geral, produção de compensados e laminados, sendo utilizada em construções civis leves, embarcações, equipamentos esportivos, instrumentos musicais, brinquedos e entalhes. Mesmo com o potencial econômico, Dias, Umetsu e Breier (2012) afirmaram que há uma carência em relação a trabalhos que abordem o



conhecimento tecnológico da madeira de mogno africano.

## 2.2 MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA

Alguns tratamentos químicos são empregados para promover melhorias na resistência à biodeterioração de produtos madeireiros, principalmente nas espécies de reflorestamento, que possuem baixa durabilidade natural. Os produtos químicos utilizados são nocivos ao ser humano, aos animais e ao ambiente, o que pode causar problemas tanto em relação ao uso dos produtos madeireiros, quanto o descarte dos resíduos (OLIVEIRA; PAES; VIDAURRE, 2017).

Dessa forma, são crescentes e constantes as preocupações sobre os riscos em longo prazo do potencial de poluição ambiental de madeiras tratadas quimicamente (HIRATA, INOUE, FUKUI, 1993; WANG et al., 2016). Por isso, alguns processos de modificação térmica foram desenvolvidos, mostrando ser eficientes no aumento da resistência natural das madeiras, sem a adição de produtos tóxicos (ESTEVES; PEREIRA, 2009; FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION, 2003).

Para ser considerada modificada, a madeira precisa atender alguns requisitos, como por exemplo, não pode tornar-se tóxica (por adição de algum produto durante ou após o processo) e suas propriedades precisam ser melhoradas, incluindo o ciclo de vida útil do produto (HILL, 2006; HOMAN et al., 2000). Além disso, o processo deve melhorar a madeira modificada termicamente (resistência biológica, estabilidade dimensional e cor), agregando valor ao produto final (AYADI et al., 2003; MODES et al., 2017; VERNONIS, 2001).

O tratamento térmico causa modificações na constituição química da madeira, tanto elementar como em nível de parede celular, reduzindo a disponibilidade de substâncias atrativas aos organismos xilófagos. Também ocorre a redução da higroscopicidade da madeira, por causa da diminuição dos sítios de adsorção das moléculas de água. Além disso, os processos de modificação térmica formam uma camada protetora que evita a propagação superficial da chama, retarda o tempo de ignição e reduz a taxa de liberação de calor (LOWDEN; HULL, 2013; OSTMAN; TSANTARIDIS, 2006; SUN et al., 2012).

Os processos europeus são os mais conhecidos e utilizados para a modificação térmica da madeira. Em 2001, ocorreu na França um seminário que revisou os cinco principais processos industriais de modificação térmica da madeira:

*ThermoWood®* (Finlândia), *Plato®* (Holanda), *Retification®* e *Perdure®* (França) e *Menz OHT®* (Alemanha) (BATISTA, 2019; RAPP, 2001).

No Brasil, há necessidade em pesquisas com processos de modificação térmica da madeira, por possuir potencial para o desenvolvimento industrial de processos nessa área. Sendo, pois, necessárias pesquisas que visem melhorias na cor, estabilidade dimensional durabilidade natural da madeira tratada termicamente.

### 2.3 COLORIMETRIA

A colorimetria é a ciência que mede as variações das tonalidades dos materiais. As tonalidades da madeira são resultado da composição química, principalmente do teor de extrativos, e variam do bege-claro ao marrom-escuro, com tonalidades amareladas, avermelhadas, arroxeadas e alaranjadas (BONFATTI JÚNIOR; LENGOWSKI, 2018; MORI et al., 2005).

Por se tratar de um dos primeiros fatores que chamam a atenção na aquisição de um produto madeireiro, a cor é um dos parâmetros mais importantes para a classificação da madeira quanto ao uso (MARTINS et al., 2015). Além disso, a cor possibilita a identificação e indicação de usos da madeira de diferentes espécies, principalmente quando analisada em conjunto com a textura e o desenho (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001).

A cor da madeira é influenciada por vários fatores, como estrutura anatômica, composição química, método de derrubada, posição da amostra na árvore, condições do meio ambiente, altura, diâmetro e idade da árvore, além de fatores genéticos inerentes a cada espécie (GONÇALEZ et al., 2005). Também pode ser afetada pelos seguintes fatores abióticos: temperatura, umidade, acabamentos, reações fotoquímicas e, também, pela deterioração causada por agentes xilófagos (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001; MONTES et al., 2013).

Para a determinação da cor da madeira são utilizados espectrofotômetros ou colorímetros, que não têm a capacidade da obtenção de uma resolução espectral da cor do objeto, em razão da ausência de dados de reflectância espectral (STANGERLIN, 2012). Os colorímetros impedem as oscilações da iluminação do dia, possuem a mesma sensibilidade da visão humana e registram minuciosas diferenças entre as cores (CAMARGO; GONÇALEZ, 2001; MORI et al., 2005).

Para a resolução espectral da cor de um objeto são fundamentais a fonte luminosa, o objeto e o observador. Contudo, a determinação da cor de um material pelo uso somente o aspecto visual, restringe-se à capacidade do observador e ao ambiente onde está sendo realizada a avaliação. Assim, a colorimetria gera dados quantitativos para os parâmetros colorimétricos (STANGERLIN, 2012). A técnica utiliza o sistema da Comissão Internacional de Iluminantes - CIE, para quantificação e medição da cor por meio de coordenadas cromáticas. Esse sistema define a sensação da cor com base na luminosidade, tonalidade e cromaticidade (CAMARGO; GONÇALEZ, 2001; MORI et al., 2005).

Os parâmetros podem ser utilizados para correlacionar a cor da madeira com o teor de extrativos em espécies tropicais comerciais (KOCH; SCHMITT, 2013). Assim, a análise da cor de qualquer produto lhe garante um padrão de qualidade exigido no mercado mundial. Por essa razão, tal propriedade deve ser incorporada ao planejamento, visando à caracterização tecnológica da madeira para atender aos usos mais nobres como a produção de móveis, pisos, lambris, construção naval e marcenaria de alto padrão (JANIN et al., 2001; MORI et al., 2004).

#### 2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA

Uma das propriedades físicas mais importantes da madeira é a densidade, definida como a quantidade de substância lenhosa existente em dado volume de material. Ela é afetada por diversas características que podem influenciar diretamente em outras propriedades tecnológicas, além de servir como referência para a classificação da madeira. Em geral, madeiras mais densas são mais resistentes, elásticas e duras que as leves. No entanto, possuem desvantagens em relação à trabalhabilidade e movimentação dimensional (KOLLMANN, COTÉ JUNIOR, 1968; LENZ et al., 2011).

A fim de se obter melhorar aspectos tecnológicos de madeiras (características físico-mecânicas, químicas e biológicas), principalmente em sua estabilidade dimensional e durabilidade, pode-se usar tratamentos térmicos (NAVI; SANDBERG, 2012), como a modificação térmica, geralmente conduzida em altas temperaturas (100 a 220 °C), conforme citado por Conte et al. (2014).

Uma das propriedades físicas mais importantes da madeira é a densidade ou massa específica, definida como a quantidade de substância lenhosa existente em

dado volume de material. Ela é influenciada por diversas características que podem influenciar diretamente em outras propriedades tecnológicas, além de servir como referência para a classificação das madeiras. Em geral, aquelas consideradas pesadas são mais resistentes, elásticas e duras que as leves. No entanto, possuem desvantagens em relação à trabalhabilidade e com uma maior variabilidade dimensional (KOLLMANN, COTÊ JUNIOR, 1968; LENZ et al., 2011).

As propriedades mecânicas definem o comportamento da madeira quando submetida a esforços de natureza mecânica, possibilitando a estimativa da capacidade de um material resistir às forças externas, que tendem a causar deformação. Juntamente com outras propriedades, a resistência mecânica serve de indicador para o uso da madeira que estará submetida a esforços mecânicos, como estruturas, móveis e pisos (STANGERLIN et al., 2008).

Para diversas utilizações das madeiras as propriedades mecânicas, tal como as propriedades físicas, possuem importância crucial. Tendo os módulos de elasticidade (MOE), e o de ruptura (MOR) na resistência à compressão paralela e perpendicular à grã como sendo as mais importantes, ou seja, os materiais (madeiras) reagem de formas diferenciadas aos esforços externos a eles aplicados. Por exemplo, o dimensionamento de peças estruturais em madeiras possui dependência da quantidade de material celulósico na parede celular (densidade) e, da sua resistência aos esforços mecânicos que a ela serão aplicados (PANSHIN, DE ZEEUW, 1980).

Existem diferentes metodologias para a determinação do módulo de elasticidade (MOE), podendo ser por ensaios dinâmicos ou estáticos, de compressão, de tração ou de flexão de madeiras. Quando da realização das medições para a determinação do módulo de elasticidade sugere-se citar o tipo de testes (ensaios), porque esses apresentam variações metodológicas diferenciadas, como tipos de corpos de provas, velocidades de aplicação de cargas (tensões) e dispositivos para as medições das deformações (LAHR, 2016; MORAES NETO et al., 2009).

Nos ensaios padronizados, utilizam-se corpos de provas (amostras) isentos de defeitos para a determinação das propriedades mecânicas. A determinação do MOE e do MOR na flexão estática é um dos principais ensaios, são dois parâmetros avaliados normalmente em testes nos quais o MOE, representando a rigidez do

material submetido à aplicação de cargas, é de maior importância para a caracterização tecnológica das madeiras (GLASS; ZELINKA, 2010; SCANAVACA JÚNIOR; GARCIA, 2004).

O Método do *Stress Wave Timer*, um ensaio não destrutivo, pode também ser utilizado com o mesmo propósito de determinação do MOE e do MOR. O ensaio por essa metodologia inicia-se com a aplicação de um impacto no começo de uma viga homogênea e simplesmente apoiada. Tal impacto gera uma onda de compressão que, começa a mover-se, imediatamente, excitando as primeiras partículas componentes da viga e, segue excitando as partículas posteriores. Com velocidade constante, movendo-se ao longo da viga e, após percorrer todo o seu comprimento, a onda colide com o final livre da viga e, a onda de tensão tem uma reflexão, retornando pelo comprimento da amostra. A energia vai se dissipando com a passagem da onda pelas partículas, mesmo que a sua velocidade permaneça constante e independente da intensidade do impacto inicial (ROOS; PELLERIN, 1994).

Para medir duas propriedades básicas no material a ser analisado, a energia armazenada e sua dissipação, a técnica do *stress wave* utiliza a baixa tensão molecular. Por energia armazenada denomina-se como a velocidade em que a onda percorre o material e, à taxa com a qual ela perde a sua energia ao passar pelo mesmo material, denomina-se de dissipação. Entre os ensaios não destrutivos, este método pode ser considerado o melhor, por possuir uma relação estatística alta como o método destrutivo, chegando a alcançar de 90 a 94% de precisão (ROOS; PELLERIN, 1994).

Para Stangerlin et al., (2010), a espessura da parede celular, a inclinação (ângulo) das fibras, a massa específica (densidade), a composição química e o estágio de deterioração do material, suas propriedades anatômicas, o seu teor de umidade, bem como também as formas e as dimensões das peças são variáveis (fatores) que influenciam o desempenho das propriedades mecânicas das madeiras.

## 2.5 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

A madeira é constituída principalmente por carbono (49%), oxigênio (44%) e hidrogênio (6%), além do nitrogênio na proporção de 0,1 a 0,3% e a fração inorgânica (cinzas) de 0,2 a 0,5% (D'ALMEIDA, 2013). A composição química da

madeira varia conforme alguns fatores, como espécie, idade, solo, clima, adubação e tratos silviculturais (COLODETTE; GOMIDE; CARVALHO, 2015).

A madeira é constituída quimicamente de pelo menos 5.000 substâncias, com ênfase nas estruturais ou primárias, representadas pela celulose, hemiceluloses e lignina, responsáveis pela formação da parede celular e pela maioria de suas propriedades químicas, físicas e mecânicas. Em menores proporções encontram-se o amido, proteínas, substâncias pécticas, extrativos e minerais, que fazem parte dos componentes secundários, que influenciam na cor, odores e durabilidade natural da madeira (COLODETTE; GOMIDE; CARVALHO, 2015; D'ALMEIDA et al., 2013; LIMA et al., 2007).

Definida como um polímero linear com alto peso molecular, a celulose é constituída exclusivamente de  $\beta$ -D-glucose, com uma estrutura organizada, parcialmente cristalina, insolúvel em solventes orgânicos, água, ácidos e bases diluídas, todos à temperatura ambiente, sendo o principal componente da parede celular dos vegetais (KLOCK; ANDRADE, 2013). Segundo esses autores, as hemiceluloses diferenciam-se da celulose por apresentarem em sua constituição vários açúcares e ácidos que formam uma estrutura ramificada, amorfa, de cadeia mais curta que envolvem as fibrilas de celulose; com menor grau de polimerização e solúvel em álcali.

A lignina é um polímero natural proveniente da condensação desidrogenativa de três álcoois precursores: trans - coniferílico, trans - sinapílico e p - cumarílico, formados via rota do ácido chiquímico. Tendo como função agregar resistência mecânica e durabilidade, juntamente com a celulose e as hemiceluloses (MORAIS; NASCIMENTO; MELO, 2005).

A quantidade e a qualidade dos extrativos são bastante variáveis de espécie para espécie e dentro da mesma árvore (OLIVEIRA et al. 2005). Desse modo, a intensidade de ataque de organismos xilófagos na madeira está diretamente relacionada à composição química secundária e morfológica do lenho. Há uma maior durabilidade natural quando se tem maiores concentrações de extrativos fenólicos na madeira (LU et al., 2016; REINPRECHT, 2016; SILVA et al., 2014).

Com considerável variação dentro e entre árvores a composição química da madeira, causa grandes diferenças na durabilidade natural das espécies madeireiras aos agentes xilófagos (SEHLSTEDT-PERSSON, 2010). A ausência de extrativos

como, substâncias fenólicas, taninos, resinas, ceras e gorduras proporciona uma menor resistência biológica à madeira (PALA, 2007).

## 2.6 DURABILIDADE NATURAL

A durabilidade natural é um dos fatores que limita o uso da madeira de diversas espécies florestais. Em segmentos nos quais se exige que a madeira esteja em condições adversas de uso, são necessárias as análises de suas propriedades químicas, físicas, mecânicas e biológicas (ARAÚJO; MAGALHÃES; OLIVEIRA, 2012; PAES et al., 2003). Ela é definida como a vida útil do produto final da madeira, quando exposto a fatores bióticos e abióticos (JESUS et al., 1998; SILVA, 2012). Conhecer os aspectos da deterioração é importante na escolha de tratamentos a serem aplicados em produtos madeireiros, a fim de melhorar sua utilização (GONÇALVES et al., 2013).

A resistência biológica da madeira varia em função das espécies florestais, do ciclo biológico dos insetos e do tratamento o qual o material foi submetido (CARTER, CAMARGO, 1983; McCONNEL et al., 2010). Atualmente, em decorrência de problemas gerados com o descarte e reutilização de produtos madeireiros tratados com substâncias químicas, nocivas ao ser humano e ao ambiente, há uma tendência no emprego de técnicas menos danosas, como a modificação térmica (HILL, 2006; ESTEVES, PEREIRA, 2009; PAES et al., 2016).

Existem vários estudos que avaliaram a durabilidade natural da madeira a fungos apodrecedores, pois eles são os principais responsáveis pela destruição de vários produtos madeireiros. Estudos com térmitas xilófagas são menos utilizados, mas têm importância significativa, principalmente em países de clima tropical. Isso porque a madeira empregada em produtos de uso interno está longe do contato com o solo, e, portanto, livre do ataque de fungos, mas não dos insetos (PAES et al., 2003).

As térmitas (ou cupins) são insetos pertencentes à ordem Blattodea, subordem Isoptera, com aproximadamente 3.000 espécies descritas em todo o mundo; existem cerca de 300 espécies no Brasil. As térmitas possuem uma organização social singular, com diferentes formas morfológicas ou castas. Em locais de ocorrência, podem se tornar uma ameaça, por enfestar locais por muito tempo sem serem notadas (CONSTANTINO, 2015; KRISHNA, WEESNER, 1969).

Colônias de térmitas geralmente têm início com um casal reprodutor chamados de rei e rainha. Os operários são os responsáveis pelo alimento da colônia, cuidando dos ovos e da construção do ninho; os soldados defendem a colônia contra predadores e competidores (ALVES, 2015; EGGLETON et al., 1996).

As térmitas têm algumas funções importantes no sistema ecológico, como na ciclagem de nutrientes, decomposição e predação. Em contrapartida, são as maiores causadoras de danos à madeira, por isso possuem importância econômica (FREYMANN et al., 2008; PAES; VITAL, 2000; TAYASU; EGGLETON; BIGNELL, 1997). Alguns térmitas possuem hábitos subterrâneos e outras atacam e sobrevivem na madeira seca.

Aquelas de hábitos subterrâneos penetram na madeira a partir do solo ou por meio de conexões que são construídas para alcançar a madeira. Formam colônias que podem conter centenas de indivíduos e atacam a madeira com umidade maior ou igual a 15% (JEON; LEE, 2014). As térmitas de madeira seca representam um risco diferenciado, por atacar a madeira sem estar necessariamente em contato com o solo e a umidades menores. Uma vez instaladas, podem suportar teores de umidade de até 5% (SHMULSKY; JONES, 2011).



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 COLETA E AMOSTRAGEM DO MATERIAL

O material utilizado na pesquisa foi proveniente de três árvores de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) de um plantio seminal com 25 anos, pertencente à Reserva Natural Vale, Sooretama, Espírito Santo, Brasil (latitude 19° 06' a 19° 18' S, longitude 39° 45' a 40° 19' W e altitude entre 28 - 65 m).

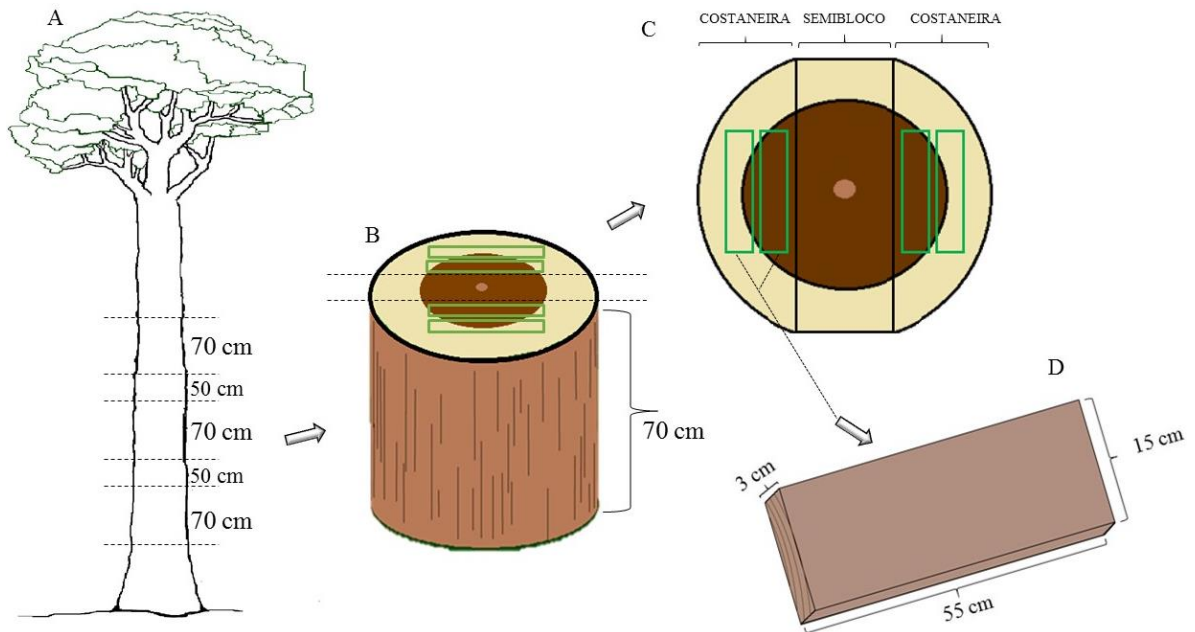
A região é caracterizada por possuir clima tropical úmido, tipo Aw, segundo a classificação de Köppen. As árvores cresceram sob uma pluviosidade média de 1.200 mm, temperatura média de 25 °C e umidade relativa (UR) de 83%. O espaçamento inicial de plantio foi de 2 x 3 m, em uma área útil de 0,15 ha. Durante o plantio foram aplicados 200 g de superfosfato simples (por cova).

Foram selecionadas as árvores que possuíam melhor estado fitossanitário e menores defeitos (tortuosidades e bifurcações). A média de diâmetro a altura do peito (DAP) foi de 37,2 cm e a média de altura comercial (inserção dos primeiros galhos) foi de 23,2 m. Foram coletados três toretes por árvore, com 70 cm de comprimento (Figura 1 A e 1 B). O material foi transportado para o Laboratório de Usinagem e Beneficiamento da Madeira (LUMber), Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM), Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAIE), Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Jerônimo Monteiro, ES.

Os toretes foram desdobrados com motosserra após 28 dias da colheita, tendo produzido um semibloco de 14 cm de espessura e duas costaneiras de altura variável (média de 12 cm) (Figura 1 C). As costaneiras foram resserradas e originaram duas peças: a primeira, originada de alburno e cerne; e a segunda, apenas com cerne interno (Figura 1C). Essas peças (Figura 1 D) foram utilizadas na modificação térmica. Após o desdobro, elas foram aplainadas e climatizadas ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $65 \pm 5\%$  de umidade relativa - UR) por cerca de 20 dias.

As costaneiras foram utilizadas, por terem uma boa proporção de madeira de transição alburno/cerne e cerne interno, menor quantidade de lenho produzido pelos primeiros anos de crescimento, o qual poderia dar origem a peças desdobradas com maiores quantidades de defeitos, e, conseqüentemente, menor quantidade de material útil para a pesquisa.

Figura 1 - Preparo do material: A) amostragem dos toretes nas árvores; B) torete em perspectiva; C) seção transversal do torete; D) peças utilizadas na modificação térmica.



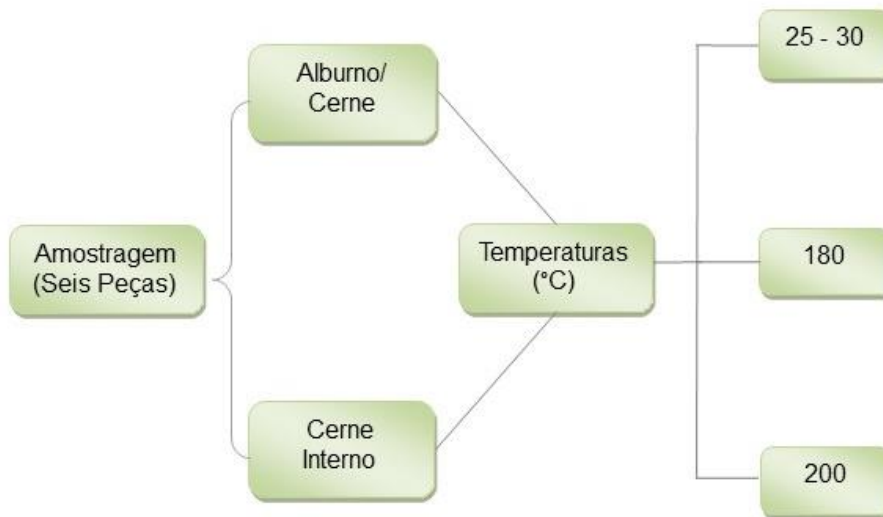
Fonte: O autor (2019).

Das costaneiras foram removidas as bordas laterais (refilo), obtendo-se uma melhor orientação para retirada das amostras destinadas aos ensaios. Assim, foram obtidas 18 peças, contendo alburno/cerne e cerne interno. Essas foram desdobradas, obtendo-se 36 amostras de 55 x 15 x 3 cm (comprimento x largura x espessura), sendo a metade delas proveniente da parte interna (cerne interno) e a externa (alburno/cerne), tendo sido descartada a porção intermediária a essas posições, quando existente.

### 3.2 MODIFICAÇÃO TÉRMICA

No delineamento experimental da modificação térmica, foram avaliados os fatores posição de amostragem da madeira, em dois níveis (alburno/cerne e cerne interno) e temperatura, em três níveis (ambiente, 180 e 200 °C). Da interação desses fatores, resultaram seis tratamentos estatísticos, cada um com seis peças (Figura 2). A amostragem do material foi realizada de forma que houvesse homogeneidade entre a quantidade de peças por árvore e por tratamento estatístico.

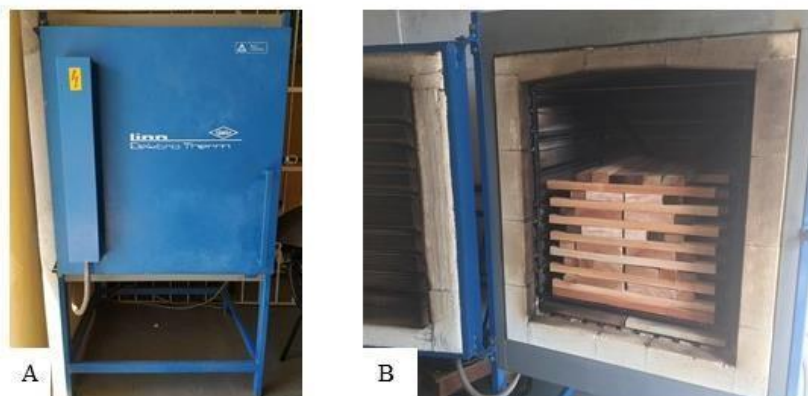
Figura 2 - Fluxograma dos tratamentos aplicados a madeira de *Khaya ivorensis*.



Fonte: O autor (2019).

A modificação térmica foi realizada em um forno Linn Elektro, dotado com controlador programável de tempo e temperatura, em meio com presença de oxigênio (Figura 3 A). Os tratamentos térmicos foram iniciados na temperatura ambiente (25 - 30 °C). As peças de uma mesma temperatura final de ciclo (180 ou 200 °C) foram modificadas termicamente na mesma carga, devidamente tabicadas (Figura 3 B).

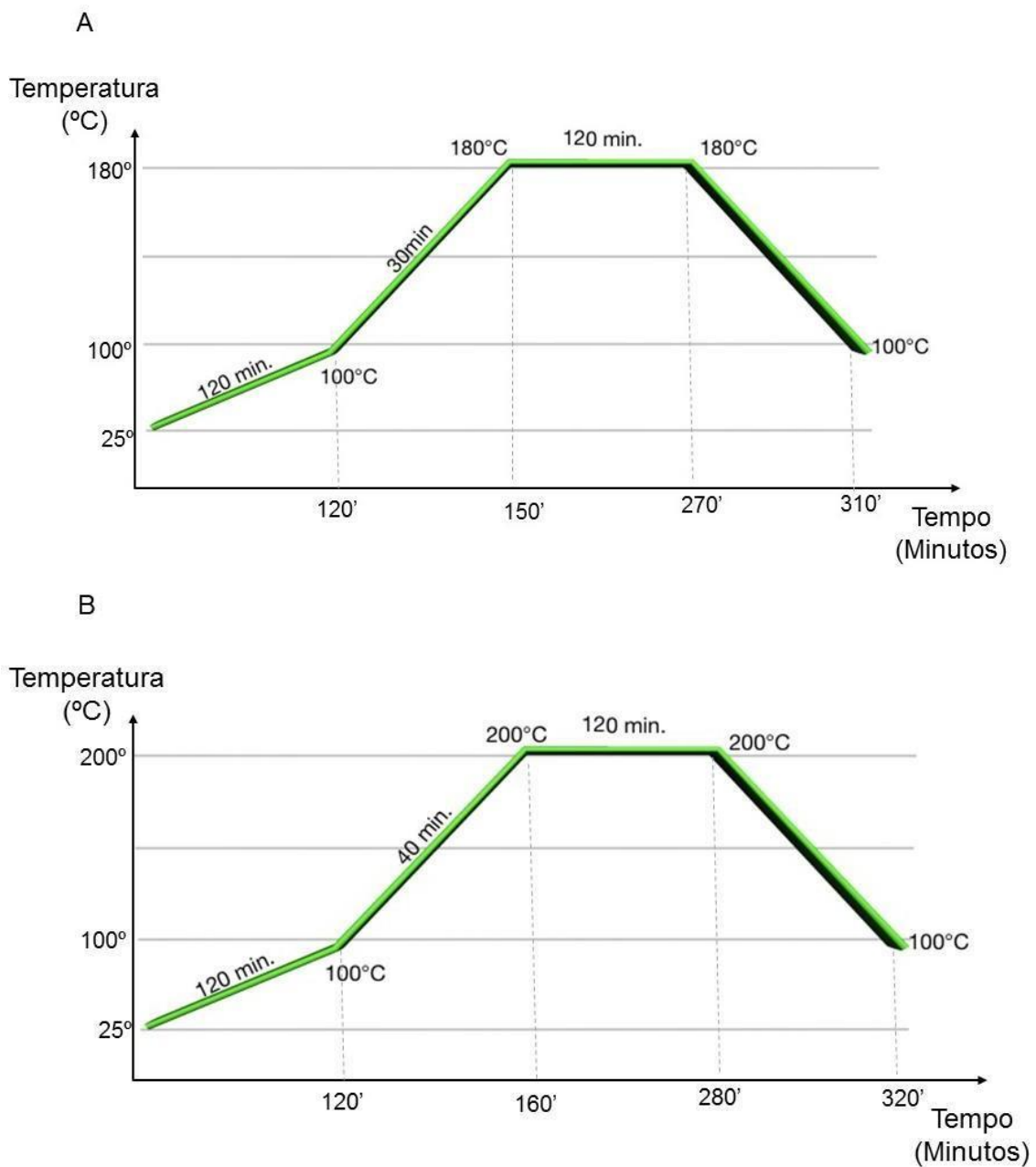
Figura 3 - Forno utilizado para a modificação térmica da madeira: A) vista frontal do equipamento; B) vista do equipamento com madeira de *Khaya ivorensis* para início do tratamento térmico.



Fonte: O autor (2019).

Os programas de modificação térmica encontram-se na Figura 4 A e 4 B, respectivamente para as temperaturas finais de ciclo de 180 e 200 °C. A taxa de aquecimento das rampas foi de 2,6 °C min<sup>-1</sup> e, o resfriamento ocorreu naturalmente, com o forno desligado.

Figura 4 - Programa de modificação térmica: rampa de aquecimento e resfriamento durante as diferentes temperaturas utilizadas para a modificação térmica. A) 180 °C; B) 200 °C.



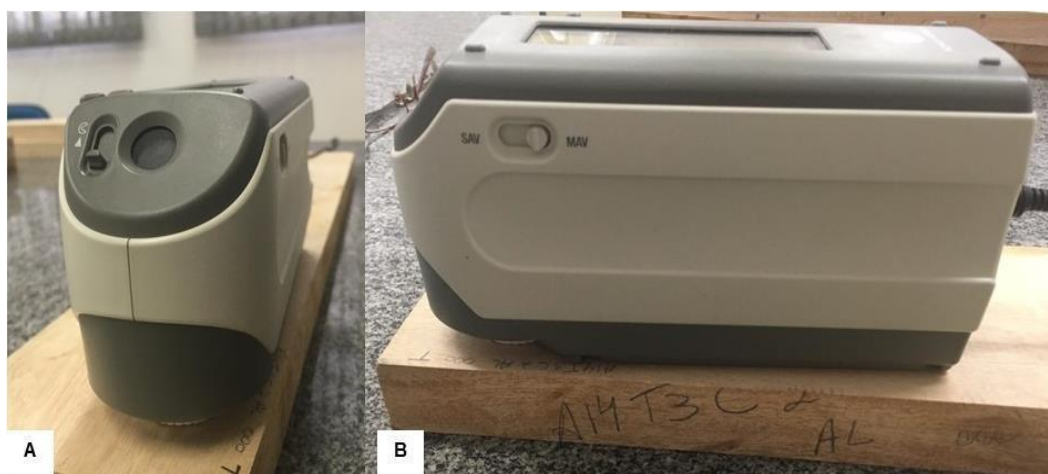
Fonte: O autor (2019).

### 3.3 COLORIMETRIA E PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS

O efeito da modificação térmica na coloração da madeira foi avaliado no espaço de cor CIE  $L^*a^*b^*$  - 1976. Foi utilizado um espectrofotômetro portátil Konica Minolta (Figura 5), a fim de se obter os valores das coordenadas  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  (matizes do eixo vermelho - verde),  $b^*$  (matizes do eixo amarelo - azul). O diâmetro de abertura utilizado para a área de iluminação do aparelho foi de 3 mm (SAV - *Small Area View*). Foi utilizado o iluminante padrão D65, ângulo de observação de  $10^\circ$  e luz especular incluída. O aparelho foi calibrado com o padrão preto e branco; em que para o padrão branco foi utilizada uma placa de calibração do próprio equipamento.

Além da luminosidade e das matizes  $a$  e  $b$ , foram analisados outros parâmetros ou coordenadas colorimétricas como  $C^*$  (saturação) e  $h^*$  (ângulo de tonalidade), que foram calculados a partir das respectivas fórmulas  $(a^2 + b^2)^{1/2}$  e  $\tan^{-1}(b/a)$ .

Figura 5 - Vistas frontal (A) e lateral (B) do espectrofotômetro portátil Konica Minolta, durante a medição da cor da madeira de mogno africano.



Fonte: O autor (2019).

Além dos parâmetros analisados e da mudança de cor, verificou-se o efeito da modificação térmica na homogeneização da cor. Por isso foi verificada o efeito das temperaturas entre as regiões de transição (alburno/cerne) e cerne interno, tendo esta informação sido adicionada ao delineamento experimental proposto (Figura 2).

A colorimetria foi avaliada antes (peças aplainadas e climatizadas) e depois da modificação térmica (após climatização por 24h). Para tanto, foram utilizadas 12 peças por temperatura, sendo seis de alburno/cerne e seis de cerne interno, tendo sido realizadas 10 leituras ao longo do comprimento de cada peça, cinco na face tangencial (largura) e cinco na face radial (espessura).

As coordenadas de cor foram comparadas com as leituras antes e depois da modificação térmica, ao calcular as variações de cada coordenada ( $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  e  $\Delta b^*$ ). A variação total da cor foi calculada com a Equação 1, conforme orientações do fabricante (MINOLTA, 1998) e da International Organization for Standardization - ISO 11664-4 (2008). As medidas de  $\Delta E$  foram classificadas conforme o proposto por Stangerlin (2012), com base em níveis de percepção visual (Tabela 1).

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (1)$$

em que;  $\Delta E^*$ : variação total da cor da madeira modificada termicamente;  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  e  $\Delta b^*$ : variação das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , após a modificação térmica, respectivamente.

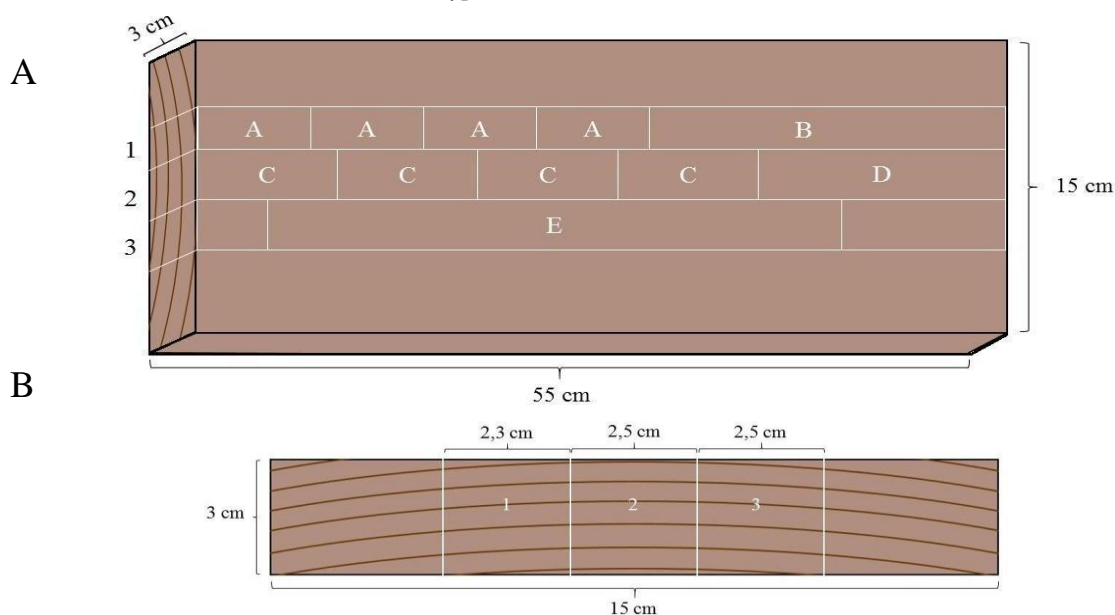
Tabela 1 - Classificação da variação total da cor ( $\Delta E^*$ ) da madeira após a modificação térmica.

<b>Variação total da cor (<math>\Delta E^*</math>)</b>	<b>Classificação colorimétrica</b>
Ligeiramente perceptível	0,0 - 0,4
Perceptível	4,1 - 8,0
Muito perceptível	Acima de 8,1

Fonte: Stangerlin (2012).

Após o processo de modificação térmica e avaliada a colorimetria as amostras permaneceram em sala climatizada até atingirem equilíbrio higroscópico, para posteriormente serem produzidos os corpos de prova destinados aos ensaios físico-mecânicos e de resistência a térmitas (Figura 6).

Figura 6 - Representação da produção dos corpos de prova: A) perspectiva e indicação dos ensaios; B) seção transversal das tábuas [A: alimentação forçada a térmitas de madeira seca; B: análises químicas; C: propriedades físicas; D: alimentação forçada a térmitas subterrâneas e preferência alimentar a térmitas de madeira seca; E: flexão estática (não destrutivo e destrutivo)].



Fonte: O autor (2019).

### 3.4 PROPRIEDADES FÍSICAS

Foram determinadas a densidade (aparente e básica), o inchamento, contração e o teor de umidade de equilíbrio da madeira, esta última como medida da higroscopicidade. Para tanto, utilizaram-se as normas 461; 460 e 462 da *Comisión Panamericana de Normas Técnicas – COPANT* (1972), e a metodologia proposta por Batista; Tomaselli; Klitzke (2011), tendo sido empregados 44 corpos de prova por temperatura, de 2,5 x 2,5 x 10,0 cm (Figura 5 B).

Os corpos de prova foram acondicionados ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $65 \pm 5\%$  UR) e pesados em balança semianalítica (0,01 g), e tiveram as dimensões medidas com paquímetro digital (0,01 mm) nas direções estruturais radial, tangencial e longitudinal. Os corpos de prova foram saturados em água e tiveram suas massas e dimensões mensuradas após 15 dias (saturação completa). Ao final deste procedimento, eles foram dispostos para secar ao ar por três dias.

Depois de secos ao ar, os corpos de prova foram dispostos em estufa com circulação de ar, em quatro etapas de temperatura, cada uma com duração de 24 h: 40, 60, 80 e  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ . Ao término da secagem, os corpos de prova foram medidos

e pesados, encerrando-se o ensaio ao final da última etapa. O coeficiente de anisotropia de contração foi obtido pela razão entre o valor das contrações tangencial e radial (T/R).

### 3.5 PROPRIEDADE MECÂNICA (FLEXÃO ESTÁTICA)

Foi avaliada a resistência (módulo de ruptura - MOR) e a rigidez (módulo de elasticidade - MOE) na flexão estática, ao serem testados seis corpos de prova por temperatura e posição na madeira (alburno/cerne e cerne interno). Como os mesmos corpos de prova, avaliou-se previamente o MOE pelo método não destrutivo *Stress Wave Timer*.

#### 3.5.1 Ensaio não destrutivo (*Stress Wave Timer*)

Inicialmente, os corpos de prova foram acondicionados ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $65 \pm 5\%$  UR). Foi utilizado o equipamento *Stress Wave Timer*, modelo 239A, que fornece o tempo em que a onda de tensão percorre o comprimento do corpo de prova (Figura 7). O módulo de elasticidade dinâmico (MOE $d$ ) foi calculado com a Equação 2.

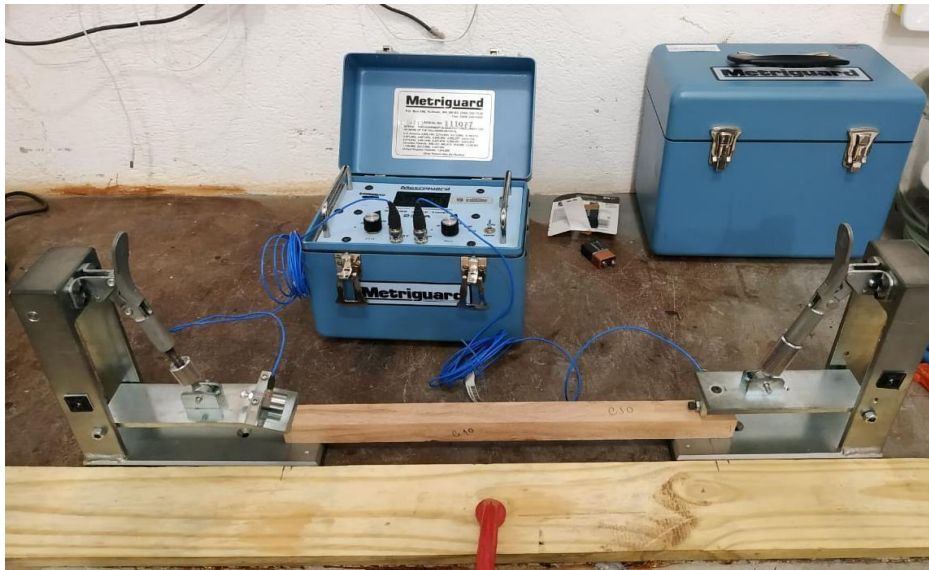
$$\text{MOE}d = \left(\frac{L}{t}\right)^2 * \frac{D}{g} * 10^{-5} \quad (2)$$

em que; MOE $d$ : módulo de elasticidade dinâmico (MPa); L: comprimento do corpo de prova (m); t: tempo de propagação da onda (s); D: densidade do corpo de prova ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ); e g: aceleração da gravidade ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ).

O ensaio não destrutivo (*Stress Wave Timer*) foi realizado com as amostras destinadas ao ensaio de flexão estática, sendo testadas duas posições no tronco [madeira de transição (alburno/cerne) e de cerne interno]. Foram utilizados 36 corpos de prova, sendo seis amostras por temperatura e posição no tronco.



Figura 7 - Medição do módulo de elasticidade dinâmico da madeira com uso do *Stress Wave Timer*.



Fonte: O autor (2019).

### 3.5.2 Ensaio destrutivo

O ensaio mecânico destrutivo foi realizado em máquina universal de ensaios de 30 toneladas de capacidade de carga, com célula de carga de 500 kg (Figura 8), acoplada a um microcomputador, dotado de um *software* específico para aquisição dos dados de cada corpo de prova e cálculo da resistência mecânica (MOR, aplicado no sentido radial e MOE, aplicado em ambos os sentidos - radial e tangencia). Foi utilizada a D 143 (ASTM, 2008), em que foram utilizados 12 corpos de prova por temperatura, de 2,5 x 2,5 x 41,7 cm<sup>3</sup> (tangencial x radial x longitudinal), com vão de 38 cm.

Figura 8 - Medição dos módulos de elasticidade estático e de ruptura da madeira.



Fonte: O autor (2019).

### 3.6 ANÁLISES QUÍMICAS DA MADEIRA

O material das análises químicas foi transformado em palitos moído em moinho do tipo Willey e condicionado em sala câmara climática ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $65 \pm 5\%$  de umidade relativa - UR). Utilizou-se o material que passou pela peneira de 40 *mesh* e ficou retido na de 60 *mesh*. A determinação da massa seca das amostras foi realizada de acordo com a T 264 da *Technical Association of the Pulp and Paper Industry* (TAPPI, 1996). Todas as análises foram em triplicata.

O teor de extrativos da madeira em etanol: tolueno (1:2) foi determinado conforme a D 1105 da *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2008). O teor de lignina Klason foi determinado de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1986). A partir do filtrado obtido da análise da lignina insolúvel foram realizadas as leituras em espectrofotômetro, para determinação da porção solúve em ácido, conforme Goldschimid (1971).

A determinação do teor de cinzas foi realizada de acordo com a D 1102 (ASTM, 2008). O teor de holocelulose foi obtido por diferença: Holocelulose (%) =  $100 - (\text{extrativos} + \text{lignina total} + \text{cinzas})$ .

### 3.7 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM TÉRMITAS

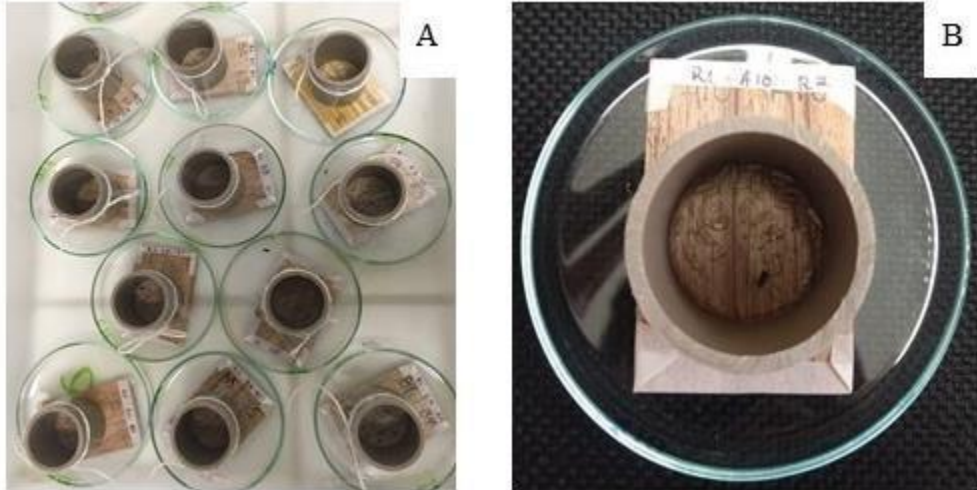
#### 3.7.1 Alimentação forçada com térmitas de madeira seca

Para este ensaio, empregou-se o procedimento do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo/Divisão de Madeiras - IPT/DIMAD D-2 (1980). Foram utilizados 24 corpos de prova por temperatura, com dimensões de 2,3 x 0,6 x 7,0 cm (radial x tangencial x longitudinal), unidos aos pares com fita adesiva e dispostos em placas de Petri. Sobre cada par, fixou-se com parafina um recipiente de policloreto de polivinila (PVC), com 3,5 cm de diâmetro e 4,0 cm de altura (Figura 9).

Dentro de cada recipiente foram inseridas 40 térmitas de madeira seca da espécie *Cryptotermes brevis* Walker (39 operários e um soldado). O ensaio foi mantido em sala climatizada ( $27 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $65 \pm 5\%$  UR), durante 45 dias. Ao final do ensaio, os corpos de prova foram avaliados quanto à perda de massa e ao desgaste (nota). As notas do desgaste variaram de zero a quatro: 0 - nenhum desgaste; 1 - desgaste superficial; 2 - desgaste moderado; 3 - desgaste acentuado; 4 - desgaste profundo. As térmitas foram avaliadas quanto à mortalidade (%) e ao número de dias

para a morte (tempo de sobrevivência).

Figura 9 - Ensaio de alimentação forçada com térmitas de madeira seca: A) vista geral; B) destaque nos corpos de prova.



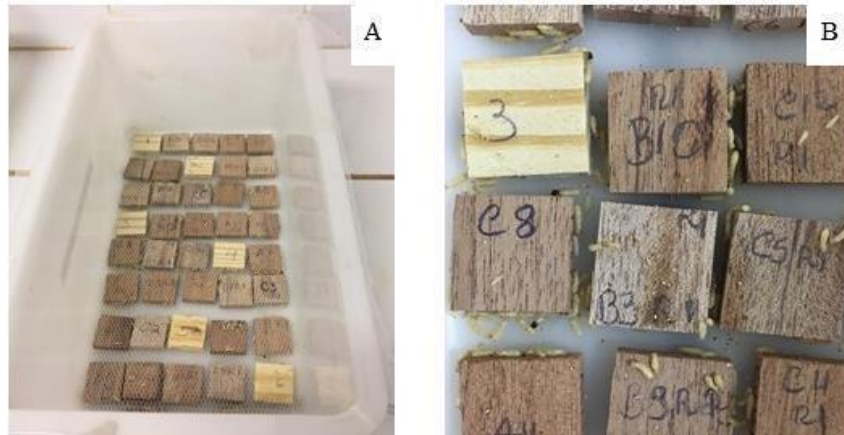
Fonte: O autor (2019).

### 3.7.2 Preferência alimentar com térmitas de madeira seca

Para este ensaio, foram utilizados seis corpos de prova por temperatura, com dimensões de 2,54 x 0,64 x 2,54 cm (radial x tangencial x longitudinal), que foram distribuídos aleatoriamente (Figura 10 A) em um recipiente de PVC, com dimensões de 12 x 15 x 28 cm (altura x diâmetro x comprimento). Foram adicionadas térmitas na quantidade de 10 vezes o número de corpos de prova, distribuídas aleatoriamente no recipiente, mantendo as mesmas proporções de operários e soldados do ensaio de alimentação forçada (Figura 10 B).

O ensaio foi mantido em sala climatizada ( $27 \pm 2$  °C e  $65 \pm 5\%$  de UR), durante 45 dias. Foram avaliadas a perda de massa e o desgaste provocado pelos insetos na madeira.

Figura 10 - Ensaio de preferência alimentar com térmitas de madeira seca: A) vista geral (A); B) detalhe.



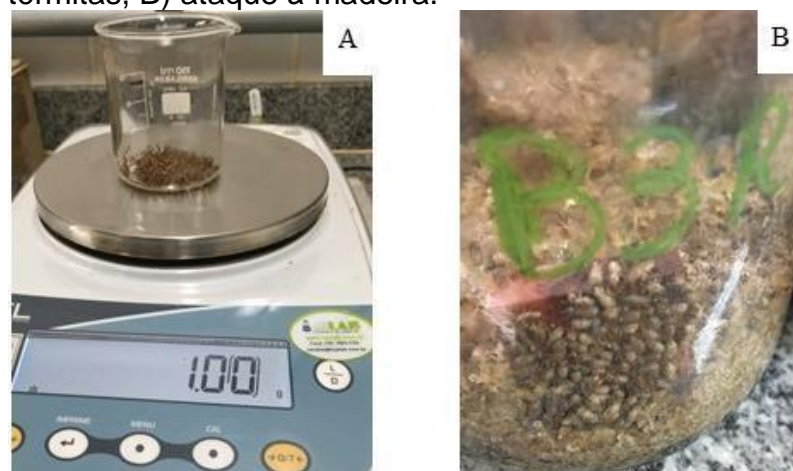
Fonte: O autor (2019).

### 3.7.3 Ensaio de alimentação forçada com térmitas subterrâneas

Para este ensaio, foi seguida a D 3345 (ASTM, 2008), com modificações citadas por Paes et al. (2013). A colônia de térmitas da espécie *Nasutitermes corniger* Motsch. utilizada no ensaio foi coletada na área experimental da Universidade Federal do Espírito Santo, município de Jerônimo Monteiro, ES.

Foram utilizados 12 corpos de prova por temperatura seis alburno/cerne e seis cerne interno, com dimensões de 2,54 x 0,64 x 2,54 cm (radial x tangencial x longitudinal), acondicionados em frascos de vidro de 600 mL. Em cada frasco foram adicionados  $1 \pm 0,05$  g de térmitas, o que correspondeu a cerca de 300 térmitas, na proporção de 85% de operários e 15% de soldados (proporção existente na colônia) (Figura 11).

Figura 11 - Ensaio de alimentação forçada com térmitas subterrâneas: A) pesagem das térmitas, B) ataque à madeira.



Fonte: O autor (2019).

O ensaio foi mantido em câmara climática ( $25 \pm 2$  °C e  $65 \pm 5\%$  UR) durante 28 dias, quando foram avaliadas a perda de massa (%), o desgaste (notas) dos corpos de prova e a mortalidade das térmitas (%) (Tabela 2).

Tabela 2 - Avaliação do desgaste das amostras e da mortalidade das térmitas.

Tipo de Desgaste	Nota
Sadio, permitindo escarificações superficiais	10
Ataque superficial	9
Ataque moderado, havendo penetração	7
Ataque intenso	4
Falha, havendo ruptura dos corpos de prova	0
Mortalidade	(%)
Baixa	0 - 33
Moderada	34 - 66
Alta	67 - 99
Total	100

Fonte: Adaptado da D 3345, ASTM (2008).

### 3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises químicas da madeira foram realizadas em triplicatas para cada posição no tronco (alburno/cerne e de cerne interno) e temperatura (ambiente, 180 e 200 °C), e foi analisada por estatística descritiva, ao serem consideradas as médias aritméticas.

Para colorimetria foram avaliadas seis repetições para cada posição no tronco e temperatura, em 36 amostras, tendo sido realizadas 10 leituras por amostra (cinco na face radial e cinco na tangencial), totalizando 360 leituras.

Para as propriedades físicas da madeira (estabilidade dimensional, densidades aparente e básica e higroscopicidade) foram avaliadas 22 repetições para cada posição e temperatura, totalizando 132 amostras. E para as propriedades mecânicas da madeira foram ensaiadas seis repetições para cada posição e temperatura, totalizando 36 amostras.

Para o ensaio com térmitas de madeira seca e subterrâneo (ensaio de alimentação forçada) foram utilizados 12 repetições por posição e temperatura, totalizando 72 amostras, e para o de preferência alimentar (madeira seca), foram seis repetições por posição e temperatura, 36 amostras.

Para os ensaios colorimétricos, propriedades físico-mecânicas e biológicos com térmitas foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial, em que foram avaliados os efeitos das posições no tronco (dois níveis) e temperatura (três níveis). Para os fatores e interação detectados como significativos pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ), foi empregado o teste de Skott-Knott ou Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Para todos os casos foi verificada a normalidade dos dados pelo teste de Lilliefors e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Cochran. Quando houve necessidade, os valores em porcentagem foram transformados em  $\arcsen\sqrt{(\text{valor}/100)}$  e os de desgaste e dias em  $\sqrt{(\text{valor}+0,5)}$ . A avaliação das relações entre o MOE estático e dinâmico (*Stress Wave Timer*) foi realizada por meio da análise de regressão linear simples, Person e teste T. Foram realizadas combinações entre as propriedades que exibiram relações significativas pelo teste T.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 COLORIMETRIA

A colorimetria da madeira de mogno africano apresentou diferenças significativas para posição (alburno/cerne e cerne interno) e condição (antes e depois da exposição), nas faces tangencial e radial para os parâmetros colorimétricos  $C^*$  (saturação ou cromaticidade),  $a^*$  (coordenada para coloração verde - vermelha) e  $L^*$  (luminosidade ou claridade). Para o  $b^*$  (coordenada para coloração amarela - azul), a diferença foi observada para a condição. Enquanto para o  $h^*$  (ângulo de tinta), ocorreu apenas para posição na madeira (Apêndice A, Tabela 1A).

Uma análise dos resultados para a face tangencial (Tabela 3) e radial (Tabela 4) demonstrou, para os parâmetros colorimétricos  $C^*$  e  $a^*$ , que a madeira de cerne exibiu valores superiores, e para  $L^*$  e  $h^*$ , inferiores, indicando que, independente da temperatura e da condição, foi mais avermelhada, uniforme e escura que a de alburno. As cores das amostras (parâmetros  $C^*$ ,  $a^*$ ,  $L^*$  e  $b^*$ ) submetidas à temperatura ambiente ou controle (25 - 30 °C), não foram influenciadas pela condição (antes e depois da exposição), mas aquelas submetidas às temperaturas de 180 e 200 °C tiveram variações colorimétricas pronunciadas e semelhantes estatisticamente.

Assim, independente da face avaliada, as posições na madeira e os tratamentos térmicos exibiram os mesmos comportamentos para os parâmetros colorimétricos avaliados, modificando e destacando a cor da madeira.

Observou-se que as amostras, mesmo aquelas não submetidas ao tratamento térmico, ficaram mais escurecidas depois de quatro dias de armazenadas em condições de laboratório, com efeito, um pouco mais acentuado para a face radial. Segundo Camargos e Gonzalez (2001), a madeira de mogno africano testada é classificada como clara, por exibir valor de  $L^*$  maior ou igual a 56. De acordo com Gonzalez et al. (2001), a coordenada  $a^*$ , indica coloração avermelhada mais pronunciada e, quando  $b^*$  aumenta, significa a presença da cor amarela. Assim, as amostras tratadas (180 - 200 °C) tiveram a coloração vermelha e amarela mais acentuada que o controle (ambiente).

Tabela 3 - Parâmetros e coordenadas colorimétricos para a face tangencial para cada condição (antes e depois da exposição), temperatura e posição na madeira.

<b>Face Tangencial da Madeira</b>				
<b>Parâmetro L*</b>				
Posição	Valor	Temperatura (°C)	Antes	Depois
		25-30	71,172 a	71,238 a
Alburno/Cerne	72,309 a	180	71,230 a	64,131 b
Cerne Interno	65,135 b	200	72,447 a	62,114 b
<b>Coordenada a*</b>				
Posição	Valor	Temperatura (°C)	Antes	Depois
		25-30	10,136 b	9,897 b
Alburno/Cerne	8,516 b	180	10,085 b	11,769 a
Cerne Interno	12,480 a	200	9,865 b	11,235 a
<b>Coordenada b*</b>				
Temperatura (°C)		Antes	Depois	
25-30		16,080 b	16,471 b	
180		16,600 b	19,877 a	
200		16,560 b	20,496 a	
<b>Parâmetro C*</b>				
Posição	Valor	Temperatura (°C)	Antes	Depois
		25-30	19,176 b	19,351 b
Alburno/Cerne	19,683 b	180	19,542 b	23,165 a
Cerne Interno	21,678 a	200	19,403 b	23,446 a
<b>Parâmetro h*</b>				
Alburno/Cerne			1,119 a	
Cerne Interno			0,954 b	

Médias seguidas da mesma letra, para cada parâmetro analisado, não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).



Tabela 4 - Parâmetros e coordenadas colorimétricos para a face radial para cada condição (antes e depois da exposição), temperatura e posição na madeira.

<b>Face Radial da Madeira</b>				
<b>Parâmetro L*</b>				
Posição	Valor	Temperatura (°C)	Antes	Depois
		25-30	71,635 a	70,695 a
Alburno/Cerne	71,065 a	180	70,964 a	62,717 b
Cerne Interno	65,694 b	200	73,412 a	60,853 b
<b>Coordenada a*</b>				
Posição	Valor	Temperatura (°C)	Antes	Depois
		25-30	10,061 b	10,090 b
Alburno/Cerne	9,306 b	180	10,293 b	12,247 a
Cerne Interno	12,155 a	200	9, 566 b	12,127 a
<b>Coordenada b*</b>				
Temperatura (°C)	Antes		Depois	
25-30	16,638 b		17,027 b	
180	16,861 b		21,247 a	
200	16,875 b		22, 496 a	
<b>Parâmetro C*</b>				
Posição	Valor	Temperatura (°C)	Antes	Depois
		25-30	19,552 b	19,866 b
Alburno/Cerne	20,758 b	180	19,865 b	24,603 a
Cerne Interno	22,227 a	200	19,454 b	25,616 a
<b>Parâmetro h*</b>				
Alburno/Cerne			1,105 a	
Cerne Interno			0,991 b	

Médias seguidas da mesma letra, para cada parâmetro analisado, não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).

Alguns pesquisadores, dentre eles Conte et al. (2014), Esteves, Graça e Pereira (2008), Freitas, Gonzalez e Del Menezzi (2016); Garcia, Lopes, Santos (2014), Lazarotto et al. (2016), Pertuzzatti (2016) e Zanuncio et al. (2014a, b, c), também constataram que a modificação térmica provoca o escurecimento da madeira, ou seja, causa redução da claridade ou luminosidade (L\*).

As variações ocorrem em função da cor original da espécie. Para as coordenadas amarelo-azul ( $b^*$ ) e verde-vermelho ( $a^*$ ) o tratamento térmico pode causar diversas alterações. Garcia, Lopes, Santos (2014), Zanuncio et al. (2014a, b, c), Pertuzzatti (2016) e Lazarotto et al. (2016) observaram redução nos valores para essas coordenadas. Esse efeito também foi notado na presente pesquisa, porém sem diferença significativa entre as temperaturas de 180 e 200 °C. No entanto Freitas, González e Del Menezzi (2016) e Paula et al. (2016) encontraram queda no valor de  $b^*$  para as condições mais severas de tratamento testadas (temperaturas  $\geq 200^\circ\text{C}$ ).

O parâmetro  $C^*$  é influenciado pelas coordenadas  $a^*$  e  $b^*$ , dessa forma, à medida que esses valores aumentam, há incremento da saturação (ATAYDE; GONÇALEZ; CAMARGOS, 2011). Esse comportamento também foi observado para a madeira de mogno africano no presente trabalho. O aumento do valor de  $C^*$  evidencia alteração positiva nos pigmentos vermelho e amarelo, indicando maior saturação da cor. Verificou-se, também que a seção radial apresentou a coloração mais saturada e a maior luminosidade. Segundo Möttönen (2005), produtos químicos de coloração mais clara estão concentrados nas células dos raios. Isso pode explicar o fato da seção radial ser mais clara que a tangencial.

As coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  são responsáveis pela cor das madeiras, verifica-se que a coordenada  $b^*$  (coloração amarela-azul) apresentou valores mais elevados que  $a^*$  (coloração verde-vermelha). Quando  $a^*$  exibe valores superiores a 10,00, significa que a coloração verde-vermelha é mais pronunciada que a amarela-azul ( $b^*$ ) da madeira (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001). Assim, a coordenada  $a^*$  tem presença mais marcante na cor do mogno africano, principalmente da submetida à modificação térmica. Resultados semelhantes foram encontrados por Costa et al. (2011) na a madeira de jatobá (*Hymenaea courbaril*).

Com base nos parâmetros colorimétricos, a madeira de mogno africano (*Khaya ivorenses*), tratada termicamente é caracterizada pela pigmentação vermelha (coordenada  $a^*$ ), com influência da amarela (coordenada  $b^*$ ), com tendência ao escurecimento pelo maior valor de claridade ( $L^*$ ), que influencia nos valores de ângulo de tonalidade ( $H^*$ ) e de saturação ( $C^*$ ). Assim a modificação térmica promoveu a uniformização da cor da madeira. Esse comportamento está condizente com o obtido por Moura (2014).

A variação total da cor ( $\Delta E^*$ ) para as faces radial e tangencial da madeira, acusou diferença significativa apenas para as temperaturas de tratamento térmicos testadas (180 e 200°), Apêndice A, Tabela 2A. Em ambas as faces (tangencial e radial) e para os parâmetros analisados, obteve-se diferença entre as temperaturas, tendo para as amostras submetidas a 200 °C, obtido maior variação total da cor (Tabela 5).

Tabela 5 - Variação total da cor ( $\Delta E^*$ ) para as faces radial e tangencial das madeiras para as temperaturas de 180 e 200 °C.

<b>Variação da cor (<math>\Delta E^*</math>)</b>		
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Radial</b>	<b>Tangencial</b>
25-30	1,896 c	1,034 c
180	9,668 b	8,145 b
200	66,067 a	66,426 a

\*Comparação entre parâmetros depois do tratamento, ao serem comparados todos os valores. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).

Assim, as temperaturas de tratamento térmicos testadas (180 e 200 °C) promoveram melhorias na uniformidade da cor para as faces radial e tangencial das amostras, podendo agregar valor comercial à madeira de mogno africano.

## 4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

### 4.2.1 Teor de umidade e densidades aparente e básica da madeira

A análise de variância revelou que o teor de umidade e a densidade aparente acusaram diferenças significativas para a temperatura (ambiente, 180 e 200 °C) e posição na madeira (alburno/cerne e cerne interno). Enquanto para a densidade básica da madeira, isso foi observado apenas para a posição (Apêndice B, Tabela 1B).

O teor de umidade de equilíbrio (UE) para a madeira de mogno africano exibiu proporcionalidade inversa com o aumento da temperatura dos tratamentos térmicos aplicados (Tabela 6). Tendo a de 200 °C revelado menor valor e o controle (25 - 30 °C) o maior. Com relação à posição na madeira (alburno/cerne e cerne interno) a

UE foi menor para o cerne interno. Isso provavelmente esteja relacionado com a quantidade de extrativos existentes na parede celular, que ocupam sítios que deveriam estar disponíveis para a formação de pontes de hidrogênio entre os grupos OH<sup>-</sup> dos polissacarídios e a molécula de água existente no ambiente (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; SKARR, 1988), reduzindo a umidade de equilíbrio.

Tabela 6 - Teor de umidade e densidades (básica e aparente) para as posições (alburno e cerne) das madeiras em suas diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Teor de Umidade (%)	Densidade Aparente (g cm <sup>-3</sup> )	
25-30	13,749 a	0,588 a	
180	11,850 b	0,558 b	
200	10,565 c	0,561 b	

Posição	Teor de Umidade (%)	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	
		Aparente	Básica
Alburno/Cerne	12,905 a	0,611 a	0,513 a
Cerne Interno	11,204 b	0,528 b	0,454 b

Medias seguidas da mesma letra, para cada parâmetro avaliado, não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).

A diminuição da umidade de equilíbrio em madeiras tratadas termicamente, segundo Boonstra e Tjeerdsma (2006), ocorre pela menor quantidade de água adsorvida pela parede celular, como consequência das mudanças químicas e, principalmente com a diminuição de grupos hidroxílicos, além da diminuição da acessibilidade provocada pelo aumento da cristalinidade da celulose e de ligações cruzadas na lignina.

As temperaturas de tratamento térmico afetaram a densidade aparente da madeira, tendo as amostras tratadas (180 - 200 °C) exibido menores valores. Isso pode ter ocorrido em função de perdas de massa causadas pela evaporação de extrativos voláteis e pela degradação de componentes celulares de menor peso molecular. Já para a posição na madeira, as densidades aparente e básica foram maiores no alburno/cerne. Isso pode ser explicado pela maior quantidade de madeira de transição (alburno/cerne) em algumas amostras e pela maior quantidade de madeira de cerne em outras.

A redução na densidade da madeira, segundo Esteves, Domingos e Pereira (2007), está relacionada com a baixa estabilidade térmica das hemiceluloses e da região amorfa da celulose, o que contribui para perda de massa causada pela despolimerização durante a modificação térmica. Gündüz et al. (2010) afirmam que quanto maior as temperaturas maior a perda de massa e, conseqüentemente menor a densidade.

Quanto à densidade básica da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis*), Mariano (2017) obteve valor de  $0,53 \text{ g cm}^{-3}$ , enquanto França (2014) encontrou  $0,49 \text{ g cm}^{-3}$ . Esses valores estão próximos aos contidos neste trabalho, independente da modificação térmica da madeira.

Os valores de densidade obtidos seguem o mesmo padrão para os tratamentos térmicos, realizados por Cademartori et al. (2014) e Pertuzzatti et al. (2015), para as madeiras de *Eucalyptus grandis* e de canemaçu (*Tetrorchidium rubrivenium*), para temperaturas de 180 a 240 °C e de 130 a 210 °C, respectivamente.

#### **4.2.2 Contrações da madeira de mogno africano**

As contrações volumétrica e tangencial, da condição saturada para climatizada, acusaram diferenças significativas para posição, temperatura e a interação posição x temperatura. Para a contração radial apenas para posição (Apêndice B, Tabela 2B). Os resultados obtidos para as variações dimensionais (contrações) da madeira indicaram, menores valores para as amostras provenientes do cerne (Tabela 7). Exceção para àquelas submetidas a 180 °C, em que as contrações tangencial e volumétrica foram semelhantes para as madeiras de alburno/cerne e cerne interno.

Quanto ao efeito da temperatura, observa-se, para a madeira de alburno, que as contrações tangencial e volumétrica foram maiores, quando as amostras foram submetidas a 200 °C. Para a madeira de cerne, não houve diferença entre as contrações citadas, para as temperaturas de 180 e 200 °C, as quais foram superiores às observadas para o controle (25 - 30 °C). Alguns autores, dentre eles, Boonstra e Tjeerdsma (2006), Cademartori et al. (2014), Esteves, Domingos e Pereira (2007) e Pertuzzatti et al. (2015) citam que o tratamento térmico melhora a estabilidade dimensional da madeira.

Tabela 7 - Contrações volumétrica, tangencial e radial da situação saturada para climatizada para cada temperatura e posição na madeira.

<b>Contração Radial (%)</b>			
Posição	Contração		
Alburno/Cerne	1,749 a		
Cerne Interno	1,338 b		

<b>Contração Tangencial (%)</b>			
Posição	Temperatura (°C)		
	25-30	180	200
Alburno/Cerne	3,296 Ba	3,091 Ba	3,730 Aa
Cerne Interno	2,483 Bb	3,311 Aa	3,136 Ab

<b>Contração Volumétrica (%)</b>			
Posição	Temperatura (°C)		
	25-30	180	200
Alburno/Cerne	5, 199 Ba	4,817 Ba	5,837 Aa
Cerne Interno	3,796 Bb	4,774 Aa	4,709 Ab

Medias seguidas da mesma letra, para cada parâmetro avaliado, não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).

Os resultados contraditórios aos obtidos nesta pesquisa podem estar associados à madeira estudada, a qual, naturalmente possui boa estabilidade dimensional. Além disto, o aumento causado pela modificação térmica foi baixo, sendo de 0,978% (contração volumétrica) e de 0,828% para a tangencial. Enquanto para a radial, não foi denotada diferença entre o controle e as temperaturas aplicadas.

Da condição de madeira saturada para seca em estufa, as contrações volumétrica e radial exibiram diferenças significativas para posição e temperatura. Enquanto, para a contração tangencial isso foi denotado apenas para posição (Apêndice B, Tabela 3B).

Ao comparar as variações dimensionais (volumétrica, radial e tangencial) nas diferentes direções estruturais (Tabela 8), observa-se que os valores de contração da madeira de alburno/cerne foram superiores aos provenientes do cerne interno.

Tabela 8 - Contrações volumétrica, tangencial e radial da situação saturada para seca para cada temperatura e posição na madeira.

<b>Contração Tangencial (%)</b>			
Posição	Contração		
Alburno/Cerne	5,960 a		
Cerne Interno	5,301 b		

<b>Contração Radial (%)</b>			
Posição	Contração	Temperatura (°C)	
		25-30	Contração
Alburno/Cerne	3,453 a	180	3,100 b
Cerne Interno	3,155 b	200	3,219 b

<b>Contração Volumétrica (%)</b>			
Posição	Contração	Temperatura (°C)	
		25-30	Contração
Alburno/Cerne	9,371 a	180	8,555 b
Cerne Interno	8,387 b	200	8,733 b

Medias seguidas da mesma letra, para cada parâmetro avaliado, não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).

As maiores variações dimensionais podem estar associadas à maior densidade da madeira de alburno estudada. Uma vez que madeiras mais densas possuem maior espessura de parede e, conseqüentemente, maiores sítio para a adsorção de água (ROCHA, 2011). Sendo assim, mais suscetível a variações dimensionais.

Com relação ao efeito da temperatura de tratamento térmico, as contrações totais (volumétrica e radial) foram menores que o controle. Enquanto a tangencial, não foi influenciada pela modificação térmica. A melhoria na estabilidade dimensional da madeira é um dos benefícios obtidos pelos processos térmicos, e citados por vários autores, dentre eles; Boonstra e Tjeerdsma (2006), Cademartori et al. (2014), Esteves, Domingos e Pereira (2007) e Pertuzzatti et al. (2015).

#### 4.2.3 Inchamentos da madeira de mogno africano

Os inchamentos volumétrico, tangencial e radial, da condição de climatizada para saturada, apresentaram diferença significativa apenas para a temperatura, não apresentando diferenças entre as madeiras de alburno/cerne e cerne interno (Apêndice B, Tabela 4B). Observa-se (Tabela 9) que o tratamento térmico proporcionou menores inchamentos. Tendo a temperatura de 200 °C proporcionado o menor inchamento volumétrico.

Tabela 9 - Inchamento volumétrico, tangencial e radial da situação climatizada para saturada para cada temperatura.

Temperatura (°C)	Inchamento		
	Radial (%)	Tangencial (%)	Volumétrico (%)
25-30	2,076 a	3,022 a	5,220 a
180	1,699 b	*	4,385 b
200	1,449 b	2,141 b	3,710 c

Medias seguidas da mesma letra, para cada parâmetro avaliado, não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ). \* Valor não contabilizado em função da semelhança entre os valores das situações climatizada e saturada.

Para a madeira de mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*), Priadi e Hiziroglu (2013) observaram valores de inchamento tangencial e radial de 2,5% e 2,2%, respectivamente. Quando as amostras foram saturadas em água por 8 horas depois de terem sido submetidas a tratamento térmico (130 e 200 °C), esses valores diminuíram para 1,8% e 0,9% (tangencial) e 1,5% e 0,7% (radial), respectivamente.

Comportamento semelhante ao obtido na presente pesquisa. Os valores indicam que a madeira modificada termicamente obteve menor absorção de água, resultando na maior estabilidade dimensional, como citado por Boonstra e Tjeerdsma (2006), Cademartori et al. (2014), Esteves, Domingos e Pereira (2007), Pertuzzatti et al. (2015) e Priadi e Hiziroglu (2013).

Sabe-se que a alteração na estrutura química da madeira, como lignina, celulose e hemiceluloses evita a reabsorção de moléculas de água entre os polímeros da madeira. Estudos mostraram que o número de grupos hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) é reduzido e substituído por grupos acetil hidrofóbicos ( $-\text{COCH}_3$ ), resultando em reticulação em todas as fibrilas, logo apresentando menos espaços vazios nas paredes celulares, resultando na menor adsorção de água (YILDIZ; GEZER;



YILDIZ, 2006).

Da condição de seca para saturada, os inchamentos volumétrico e radial acusaram diferença significativa para posição e temperatura. Para o inchamento tangencial apenas para posição (Apêndice B, Tabela 5B). Observa-se (Tabela 10), que conforme ocorrido para a contração total, os inchamentos (volumétrico, radial e tangencial) foi maior na madeira de alburno. Isso pode estar relacionado com a maior densidade dessa madeira, fato, já discutido anteriormente.

Tabela 10 - Inchamento volumétrico, tangencial e radial da situação saturada para seca para cada temperatura e posição na madeira.

<b>Inchamento Tangencial (%)</b>			
Posição		Inchamento	
Alburno/Cerne		6,346 a	
Cerne Interno		5,510 b	
<b>Inchamento Radial (%)</b>			
Posição	Inchamento	Temperatura (°C)	
		Inchamento	
		25-30	3,732 a
Alburno/Cerne	3,516 a	180	3,150 b
Cerne Interno	3,057 b	200	2,977 b
<b>Inchamento Volumétrico (%)</b>			
Posição	Inchamento	Temperatura (°C)	
		Inchamento	
		25-30	10,204 a
Alburno/Cerne	10,309 a	180	9,375 b
Cerne Interno	8,874 b	200	9,195 b

Médias seguidas da mesma letra, para cada parâmetro avaliado, não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).

Observa-se que os tratamentos térmicos proporcionaram menores inchamentos (volumétrico e radial) das amostras, quando comparadas ao controle (25 - 30 °C). Para a direção tangencial, não houve efeito da temperatura na estabilidade da madeira. Os inchamentos volumétrico e radial foram inversamente proporcionais às temperaturas dos tratamentos térmicos, em que maiores temperatura resultaram em menores valores numéricos de inchamento.

Esse mesmo comportamento foi observado por Menezes et al. (2014), para a madeira de *Corymbia citriodora* e por Bressan et al. (2014) para *Eucalyptus*

*saligna* e amesclão (*Trattinnickia burseraefolia*). Os autores notaram que as maiores temperaturas proporcionam maior estabilidade dimensional à madeira. No entanto, Belezia (2015) citou que a melhor temperatura a ser aplicada na madeira de *Pinus elliottii*, a fim de se obter a melhor qualidade, foi a de 180 °C. Isso indica que para cada madeira deve ser pesquisada qual a temperatura e taxa de aquecimento, para obter os melhores benefícios proporcionados pela modificação térmica.

#### 4.2.4 Anisotropia da madeira de mogno africano

O fator anisotrópico, que expressa a relação T/R, foi calculado para a contração máxima (saturado para seco) e não exibiu diferença estatística para nenhum dos fatores e interação analisados (Apêndice B, Tabela 6B). Na Tabela 11, constam as médias para as temperaturas e posições analisadas na madeira.

Tabela 11 - Anisotropia da contração para cada temperatura e posição na madeira.

Anisotropia (T/R)*		
Temperatura (°C)	Alburno/Cerne	Cerne Interno
25-30	1,705 a	1,698 a
180	1,733 a	1,970 a
200	1,975 a	1,688 a

\* Não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ).

Segundo Galvão e Jankowisky (1985) e Chies (2005), a madeira de mogno africano, independente da temperatura aplicada e posição (alburno e cerne) é considerada normal, por possuir coeficiente de anisotropia, que varia entre 1,5 a 2,0, estando apta a ser aplicada nas mesmas utilizações de madeira tradicionais no mercado brasileiro, como ipê, peroba rosa e teca. Porém com base nos valores individuais de contração e inchamento (radial, tangencial e volumétrico), considerados baixos, essa madeira é mais estável que aquelas citadas.

O tratamento térmico pode ser usado para melhorar a higroscopicidade da madeira de mogno africano, a fim de ter menos problemas relacionados com movimentação dimensional, quando expostas a mudanças de umidade relativa. As temperaturas testadas (180 e 200 °C) melhoram a estabilidade dimensional da

madeira, sem que ocorressem perdas com rachaduras internas. Os resultados obtidos estão em conformidade com aqueles relatados por Alén (2002), Bekhta e Niemz (2003), Juodeikien e Minelga (2003), Metsä-Kortelainen, Anitikainen e Viitaniemi (2006), Militz e Tjeerdsma (2001), Rousset, Perré e Girard (2004) e Wikberg e Maunu (2004) e para madeiras de outras espécies.

### 4.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

#### 4.3.1 Ensaios não destrutivo e destrutivo da madeira

Como as propriedades mecânicas são influenciadas pelo teor de umidade da madeira, as amostras submetidas aos ensaios mecânicos tiveram suas umidades determinadas, tendo essas, variado com as temperaturas de tratamento (Apêndice C, Tabela 1C), em que os valores decresceram com o aumento da temperatura de modificação térmica (25-30 °C = 12,055% a; 180 °C = 10,327% b; 200 °C = 9,155% c). O teor de umidade variou com a temperatura de tratamento (140; 160; 180 °C) para a madeira de *Eucalyptus grandis*, em que a madeira não tratada demonstrou maior valor de umidade de equilíbrio (BATISTA et al., 2018), sendo assim, menos estável dimensionalmente.

Para os módulos de elasticidade dinâmico (MOE $d$ ) e de ruptura (MOR), não houve diferença estatística entre os fatores e interações analisados. Porém, para o módulo de elasticidade estático (MOE $e$ ) houve diferença significativa para a temperatura de tratamento (Apêndice C, Tabela 2C).

Observa-se (Tabela 12) uma tendência de aumento dos módulos de elasticidade estático (MOE $e$ ) e dinâmico (MOE $d$ ) com o aumento da temperatura dos tratamentos térmicos. Para o MOE $e$  o maior resultado foi obtido a 200 °C, tendo sido diferente do controle (25 - 30 °C), enquanto 180 °C expressou resultado intermediário entre o controle e a máxima temperatura de modificação térmica empregada. Para o MOE $d$  as temperaturas exibiram resultados superiores aos observados para o controle, não tendo sido observada diferença entre os valores para as temperaturas de 180 e 200 °C.

Tabela 12 - Módulos de elasticidade estático - MOE<sub>e</sub>, dinâmico - MOE<sub>d</sub>, de ruptura - MOR e em função da temperatura.

Temperatura (°C)	MOE <sub>e</sub> (MPa)**	MOE <sub>d</sub> (MPa)**	MOR (MPa)*
25-30	7.684,489 b	11.865,300 b	784,193 a
180	7.928,264 ab	12.293,070 a	821,074 a
200	8.279,701 a	12.207,580 a	812,965 a

\* Não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ); \*\* Não significativo pelo teste F, porém os testes de Scott-Knott, Tukey e Duncan detectaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Altas temperaturas de modificação térmica causam maior perda de massa, com relação direta às propriedades mecânica da madeira (GÜNDÜZ et al., 2010). Dessa maneira, deve-se evitar a utilização de temperaturas elevadas, quando se deseja causar pouca alteração na resistência mecânica das madeiras.

Como observado por Medeiros Neto, Paes e Segundinho (2016), o MOE<sub>d</sub> foi superior ao MOE<sub>e</sub>. Esse comportamento pode ser explicado pela característica viscoelástica da madeira, que passa simultaneamente por deformações elásticas e viscosas e, assim os módulos dinâmicos superestimam os valores do ensaio estático (TARGA; BALLARIN; BIAGGIONI, 2005).

Vários autores pesquisados, dentre eles Batista (2012), Ferreira et al. (2018) e Silva et al. (2015) detectaram que a modificação térmica causa diminuição nas propriedades mecânicas da madeira. Resultado contraditório ao observado na presente pesquisa. No entanto, Li, Lundqvist e Sivonen (2000); Sundqvist, Karlsson e Westermark (2006) notaram que pode ocorrer aumento de resistência da madeira, submetida à modificação térmica, causado pelos processos de condensação na lignina e hemiceluloses, que ocorrem à medida que as moléculas se degradam e formam novas ligações químicas, responsáveis pelo aumento da resistência da madeira.

#### 4.3.2 Correlações entre ensaios destrutivos e não destrutivos

A correlação de Pearson para os resultados dos ensaios destrutivos (MOE<sub>e</sub>) e não destrutivos (MOE<sub>d</sub>) foi significativa e positiva para todos os casos avaliados (Tabela 13).

Tabela 13 - Correlação de Pearson para os módulos de elasticidade estático (MOE<sub>e</sub>) e dinâmico (MOE<sub>d</sub>) para as variáveis temperatura, posição e sentido na madeira.

<b>MOE<sub>d</sub> x MOE<sub>e</sub></b>		
Parâmetros	Correlação	Teste T
<b>Temperatura (°C)</b>		
25-30	0,802	6,293
180	0,892	9,232
200	0,416	2,144
<b>Posição na Madeira</b>		
Alburno/Cerne	0,814	8,162
Cerne Interno	0,557	3,911
<b>Sentido da Aplicação da Carga</b>		
Radial	0,775	7,143
Tangencial	0,707	5,826

Para as temperaturas de 25 - 30 e 180 °C , houve correlação positiva superior a 80% entre os MOE<sub>e</sub> e MOE<sub>d</sub>. Porém para 200 °C foi próximo de 40%. Quanto à posição (alburno/cerne e cerne interno) houve correlação positiva, tendo o alburno/cerne exibido maior valor que o cerne interno, o qual foi próximo a 80%, enquanto o outro foi inferior a 60%. No tocante às direções de aplicação das cargas (radial ou tangencial), ambas exibiram correlações superiores a 70%, sendo levemente maior na direção radial.

Para as propriedades mecânicas da madeira analisadas por métodos destrutivos e não destrutivos, Ribeiro et al. (2016) encontraram alta correlação entre a velocidade da propagação de onda e os módulos de elasticidade dinâmico e estático. Na presente pesquisa, foram observadas melhores correlações entre o MOE<sub>d</sub> e o MOE<sub>e</sub> para o controle e 180 °C (Tabela 14); quanto à posição na madeira, isso também foi observado para o alburno/cerne. Para o sentido de aplicação da carga, também foi obtida boa correlação entre os módulos de elasticidade.

Para a madeira de um híbrido de eucalipto (*urograndis*), analisada por métodos destrutivos e não destrutivos, Xavier (2013) obteve baixa correlação, em que o MOE<sub>e</sub> pôde ser estimado em apenas 19% do MOE<sub>d</sub>. Entretanto, para a

madeira de *Pinus* sp. os métodos destrutivos e não destrutivos apresentaram uma melhor correlação, em que os resultados do MOE foram explicados em 54% pelo MOE<sub>d</sub>. Nesta pesquisa, foi observada correlação próxima da citada para a madeira de cerne interno ( $\pm 56\%$ ).

Para os tratamentos térmicos aplicados à madeira de mogno africano estudada, as análises de regressão resultaram em modelos matemáticos diretamente proporcionais, com os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) maior para 180 °C e menor para 200 °C, indicando que a equação ajustada para o MOE<sub>d</sub>, determinado pela técnica não destrutiva (*Stress Wave Timer*), explicou 64,29 (controle) e 79,48% (180 °C) do MOE<sub>e</sub>, obtido pela máquina universal de ensaios. Porém, para 200 °C, a equação ajustada explicou apenas 17,28% do MOE<sub>e</sub> (Tabela 14).

No tocante aos valores do erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ), observa-se que a dispersão dos valores foi menor para a equação gerada para a temperatura de 180 °C, enquanto a maior dispersão foi para 200 °C. Assim, quando o tratamento térmico foi realizado a 180 °C, as modificações ocorridas na madeira produziram um efeito benéfico em relação aos módulos de elasticidade, de tal forma que aumentou o  $R^2$  e diminuiu o  $S_{yx}$ , ou seja levou a um modelo matemático mais representativo e com maior precisão nas estimativas.

Para o tratamento a 200 °C, o resultado da análise de regressão indicou que as alterações ocorridas na madeira foram negativas, resultando em um modelo matemático com menor representatividade (17,28%) e maior erro ( $S_{yx}$ ) ou seja uma menor precisão nas estimativas.

Tabela 14 - Equações ajustadas entre o MOE<sub>d</sub> x MOE<sub>e</sub> para tratamentos térmicos, posição e, direção na madeira.

		<b>Equações Ajustadas</b>	<b>R<sup>2</sup>*</b>	<b>S<sub>yx</sub>**</b>
Temperatura (°C)	25-30	$y = 0,4221x + 2676,7$	0,6429	580,404
	180	$y = 0,4347x + 2584,3$	0,7948	345,943
	200	$y = 0,3191x + 4383,8$	0,1728	643,105
Posição	Alburno/Cerne	$y = 0,4956x + 1958,7$	0,6621	597,372
	Cerne Interno	$y = 0,2741x + 4667,0$	0,3103	490,046
Direção	Radial	$y = 0,3950x + 3226,6$	0,6111	480,590
	Tangencial	$y = 0,4425x + 2539,5$	0,4996	634,042

\* Coeficiente de determinação; \*\* Erro padrão da estimativa.

Para as posições na madeira (alburno/cerne e cerne interno), as análises de regressão resultaram em modelos matemáticos diretamente proporcionais, com o  $R^2$  maior para o alburno. Isso indica que a equação ajustada para a madeira de alburno/cerne, o  $MOE_d$ , determinado pela técnica do *Stress Wave Timer*, conseguiu explicar 66,21% da variação do  $MOE_e$ . Para  $Syx$ , foi obtido menor valor para o cerne interno, embora a equação gerada tenha tido menor  $R^2$ . Nesse caso, é plausível atribuir às diferenças fisiológicas, como a maior quantidade de lignina existentes no cerne, a fim de explicar tal diferença, uma vez que as propriedades mecânicas da madeira são influenciadas por fatores diversos, como constituição anatômica, constituintes químicos, idade da árvore ou da célula lenhosa, teor de umidade, temperatura, e massa específica (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968).

Para a direção ou sentido de aplicação das tensões na madeira de mogno africano, foram observadas para o sentido radial, maior  $R^2$  e menor  $Syx$ . A menor precisão das estimativas, ocorrida para a direção tangencial, pode ser explicada, uma vez que para essa direção as tensões são aplicadas em paralelo em relação aos anéis de crescimento, podendo passar por tecidos de menor ou maior densidade (lenho primaveril ou outonal), gerando maior heterogeneidade na resistência da madeira e, conseqüentemente, maior dispersão de ondas de tensão produzidas pelo *Stress Wave Timer*. Quando a onda de tensão segue em série, há uma média entre as resistências dos lenhos, gerando valores mais homogêneos na direção radial.

#### 4.4 QUÍMICA DA MADEIRA

Os resultados médios das análises químicas para a madeira de mogno africano não tratada (controle) e tratadas termicamente nas temperaturas de 180 e 200 °C, conforme a posição (alburno/cerne e cerne interno), constam na Tabela 15.

Independente da temperatura, a madeira de cerne exibiu um maior teor de lignina total. Isso foi evidente, uma vez que o teor de lignina insolúvel teve o mesmo comportamento. No entanto, para a parte solúvel, o maior teor observado foi no alburno/cerne. Além disso, essa fração foi a mais afetada pela temperatura (alburno/cerne - 180 e 200 °C e cerne interno - 200 °C).

Este resultado refletiu na lignina total, uma vez que houve pouco efeito do tratamento térmico no teor de lignina insolúvel, com variação de aproximadamente

1% para mais (cerne interno) ou menos (alburno/cerne).

Tabela 15 - Teores de lignina, extrativos, cinza e holocelulose para as variáveis temperatura e posição na madeira.

Temperatura (°C)	Posição	Lignina (%)			Extrativos (%)		Cinza (%)	Holocelulose (%)
		Insolúvel	Solúvel	Total	Etanol: Tolueno	Totais		
25-30	*Alburno	23,01	2,53	25,55	7,89	9,40	0,61	64,44
	**Cerne	24,78	1,99	26,77	6,88	8,00	0,69	64,54
180	Alburno	22,01	4,89	26,90	7,83	9,84	0,69	62,57
	Cerne	25,19	1,86	27,05	6,20	7,88	0,73	64,34
200	Alburno	22,19	4,71	26,90	8,48	9,28	0,69	63,13
	Cerne	25,91	4,17	30,08	7,51	8,86	0,73	60,33

\*Alburno/Cerne, madeira de transição \*\*Cerne Interno.

Para o teor de extrativos (etanol:tolueno e totais), observa-se que a madeira de alburno/cerne obteve maior valor (até 2,2%, para 180°C). Essa maior quantidade de extrativos pode ser causada pela presença de madeira de transição (alburno/cerne) em algumas amostras e, também da classe de extrativos (amido e açúcares simples) encontrada na madeira de alburno/cerne de mogno africano pesquisada. Isso refletiu também no teor de extrativos totais.

De modo geral, o teor de extrativos foi pouco influenciado pela temperatura de tratamento térmico. As maiores variações foram observadas para a temperatura de 200 °C ( $\pm 1\%$ ), quando comparada às demais temperaturas, sendo mais pronunciada para o etanol:tolueno (alburno/cerne e cerne interno) e totais (cerne interno).

O teor de cinzas foi maior na madeira de cerne, tendo sido influenciado pelas temperaturas de tratamento térmico (180 - 200 °C), cujos valores foram superiores ao controle (25 - 30 °C). Esse aumento pode estar relacionado com a perda de massa da parte orgânica da madeira causado pela degradação térmica de componentes de menor peso molecular. Isso refletiu também na diminuição do teor de holocelulose, sendo mais evidente para a madeira de cerne, submetida à temperatura de 200 °C.



Quando madeiras são submetidas a tratamentos térmicos, na faixa de temperaturas de 100 a 280 °C e, em função do tempo de exposição, ocorrem alterações em sua composição química, tanto elementar quanto estrutural, com suas moléculas de celuloses, hemiceluloses e lignina sendo decompostas (BRITO; NIVALDO GARCIA; BORTOLETTO, 2006; KOCAEFE; PONCSAK; BOLUK, 2008; SUNDQVIST, 2004).

As hemiceluloses, fração contida na holocelulose, são os componentes da parede celular, mais sensíveis à degradação térmica, iniciando o processo degradativo em temperaturas mais baixas e degradando mais rapidamente, conforme se elevam as temperaturas (SOUZA et. al., 2008). Como consequência, reduz-se a acessibilidade de vapor d'água aos grupos hidroxilicos responsáveis pela higroscopicidade da madeira e, conseqüentemente, ocorrerá uma perda de massa do material lenhoso, proporcional aos parâmetros temperatura e tempo a que foram submetidas.

A elevação da temperatura de trabalho, segundo Boonstra et al. (2006) e Winandy e Rowell (2005), promove uma redução maior das hemiceluloses com correspondente diminuição na resistência mecânica da madeira, causadas pelas reduções nos teores de xilose, galactose e arabinose. No entanto, segundo Kocaeffe, Poncsak e Boluk (2008), isso é mais pronunciado em temperaturas acima de 200°C, uma vez que, abaixo desse valor, ocorre o entrecruzamento da lignina e a cristalinidade da celulose, podendo manter estável a resistência mecânica da madeira.

O teor de lignina na madeira de mogno africano não tratada termicamente (controle) foi maior que os obtidos para a madeira de *Eucalyptus grandis* (BATISTA et al., 2016a; BELLON, 2013; JUIZO et al., 2018). Para a madeira modificada termicamente, outros autores, dentre eles; Moura, Brito e Bortoletto Júnior (2012) e Kačíková et al. (2013) observaram que quanto maior a temperatura do tratamento maior a proporção de lignina total. Esse comportamento foi independente da espécie florestal estudada pelos autores citados, e também obtido na presente pesquisa.

Para os extrativos totais, Juizo et al. (2018) observaram que a temperatura de 180 °C promoveu o menor valor, seguido do controle e 210 °C. Isso foi observado para a madeira de mogno estudada, apenas o cerne interno, a qual teve comportamento adverso do alburno/cerne (Tabela 12). Gaff, Kačík e Gašparík (2019)

notaram que o aumento da temperatura causou incremento da quantidade de extrativos, para as madeiras de *Quercus robur* e *Picea abies*.

Os autores citados atribuíram esse comportamento à condensação e fixação de vapores de moléculas de menores pesos moleculares despreendidas das hemiceluloses durante a modificação térmica. Vale ressaltar que o maior percentual de lignina na madeira tratada termicamente é relativo, pois é causado pela degradação das hemiceluloses e de outros compostos mais sensíveis a calor (SILVA et al., 2015).

## 4.5 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM TÉRMITAS

### 4.5.1 Ensaio com térmitas de madeira seca

No ensaio de alimentação forçada, os parâmetros mortalidade e número de dias para a morte dos cupins acusaram diferença significativa para posição, temperatura e a interação posição x temperatura (Tabela 16). Para a perda de massa apenas a temperatura e para o desgaste (nota) a posição (Apêndice D, Tabela 1D).

Nota-se que não houve diferença significativa para a mortalidade das térmitas quanto à posição (alburno/cerne e cerne interno), quando a madeira de mogno africano foi submetida à temperatura de 200 °C. No entanto, para os demais tratamentos a mortalidade foi maior no alburno/cerne. Para o alburno/cerne a maior mortalidade foi observada para 180 °C e a menor para 200 °C. Enquanto para a madeira de cerne interno, não foi observada diferença de mortalidade entre as temperaturas avaliadas.

Para o tempo de sobrevivência, houve diferença entre as posições apenas para as amostras submetidas a 180 °C, tendo as térmitas sobrevivido, até o final do experimento, nas amostras de cerne interno. Para a madeira de alburno/cerne, a maior sobrevivência ocorreu na temperatura de 200 °C, e a menor para 180 °C. Para a madeira de cerne interno, não houve diferença de sobrevivência entre as temperaturas testadas.

Tabela 16 - Resistência a cupins de madeira seca para as variáveis temperatura, posição e sentido na madeira.

<b>Mortalidade (%)</b>			
Posição	Temperatura (°C)		
	25-30	180	200
Alburno/Cerne	79,583 Ba	100,00 Aa	44,583 Ca
Cerne Interno	60,000 Ab	51,667 Ab	50,617 Aa
<b>Tempo de sobrevivência (Dia)</b>			
Posição	Temperatura (°C)		
	25-30	180	200
Alburno/Cerne	31,667 Ba	16,167 Cb	45,000 Aa
Cerne Interno	40,333 Aa	45,000 Aa	45,000 Aa
Temperatura (°C)		<b>Perda de Massa (%)</b>	
25-30		0,252 b	
180		0,299 b	
200		0,476 a	
Posição		<b>Degaste (Nota)</b>	
Alburno/Cerne		1,905 b	
Cerne Interno		2,357 a	

Médias seguidas da mesma letra, para cada parâmetro analisado, não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).

As térmitas causaram uma maior perda de massa nas amostras submetidas a 200 °C. Esse resultado está associado à menor mortalidade e ao maior tempo de sobrevivência das térmitas observadas, principalmente para a madeira de alburno/cerne. Isso também refletiu no maior desgaste observado no cerne interno.

A maior mortalidade foi observada na madeira de alburno/cerne (controle e 180 °C), o que pode estar relacionado à maior concentração de substâncias químicas (Tabela 12), que podem causar a morte dos insetos (BATISTA et al., 2016; GONÇALVES et al., 2013), dentre essas, aquelas com características antioxidantes como, as flavonanas, ácidos tânico, morina e catequina (LITTLE; SCHULTZ; NICHOLAS, 2010), que são as mais efetivas contra este tipo de térmitas. A maior concentração de extrativos na madeira de alburno/cerne estudada pode estar

associada com a presença de lenho de transição nas amostras.

Para a madeira de *Eucalyptus grandis*, Batista et al. (2016) observaram mortalidade de 77,25% para a madeira *in natura*, a qual aumentou para 83,25%, quando submetida à temperatura de 160 °C e para 80,50% (180 °C). Esses valores foram superiores aos encontrados neste trabalho para a madeira de cerne, bem como para a submetida a 200 °C (alburno e cerne). Tais resultados podem estar associados à espécie florestal, idade da madeira e processo de tratamento térmico avaliado.

Como consta na metodologia, foi realizado um ensaio de preferência alimentar, na tentativa de obter-se um novo padrão de ensaio, porém não houve diferença significativa para os parâmetros perda de massa e desgaste (nota), ao ser realizado sua estatística. Notou-se, também, que os insetos se concentraram em uma determinada posição no ensaio, o que pode ser característico dos hábitos deste tipo de insetos.

#### 4.5.2 Ensaio de alimentação forçada com térmitas subterrâneas

Para este ensaio, houve diferença significativa da perda de massa para a posição e temperatura. Enquanto, para o desgaste (nota) e mortalidade, apenas para posição (Apêndice D, Tabela 2 D). As maiores perdas de massa foram observadas para o alburno/cerne e, para o controle e 180 °C (Tabela 17). Tendo a temperatura de 200 °C, causado modificações que, independente da posição, tornaram a madeira mais resistente ao ataque.

Tabela 17 - Perda de massa, desgaste e mortalidade causado pelas térmitas subterrâneas em função das temperaturas e posições avaliadas.

<b>Posição</b>	<b>Perda de Massa (%)</b>	<b>Mortalidade (%)</b>	<b>Desgaste (Nota)</b>
Alburno/Cerne	17,896 a	68,403 b	4,282 b
Cerne Interno	10,001 b	94,615 a	7,175 a
<b>Temperatura (°C) / Perda de Massa (%)</b>			
	25-30	180	200
	14,555 a	16,397 a	10,895 b

Média seguida de uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p > 0,05).

Quanto à mortalidade, independente da temperatura de tratamento térmico, o cerne interno apresentou maior porcentagem de indivíduos mortos (mortalidade alta), tendo diferido do alburno/cerne, que apresentou mortalidade moderada. Os valores de mortalidade refletem na capacidade dos insetos em escarificar as amostras. Assim, foi observado maior desgaste (desgaste profundo) no alburno/cerne, o que esteve também associado aos valores de perda de massa da madeira de mogno africano.

A maior resistência natural da madeira de cerne pode estar relacionada aos maiores teores de cinzas, uma vez que os compostos inorgânicos podem ocasionar desgaste ao aparelho bucal dos insetos, reduzindo sua capacidade de biodeterioração da madeira (GONÇALVES et al. 2013; KVEDARAS et al., 2009; MEDEIROS NETO, 2017; PAES et al., 2013). Fato semelhante pode ser observado com relação às amostras submetidas à temperatura de 200 °C, em que a degradação térmica, causada em alguns componentes de menor peso molecular (GAFF; KAČÍK; GAŠPARÍK, 2019), ocasionou uma maior quantidade de lignina solúvel, refletida na sua quantidade total e, queda nos polissacarídeos da madeira (holocelulose), tendo disponibilizado menor quantidade de alimento para as térmitas.

As diferenças de mortalidade entre as posições na madeira e temperatura de tratamento térmico, provavelmente estão relacionadas à presença de componentes químicos que atuam como atrativos, repelentes ou que causam redução na digestibilidade da madeira, por parte da microflora existente no sistema digestivo das térmitas, fato explicado por Morrell (2012). Esses resultados podem variar em função da quantidade, classe e da localização dos extrativos nas células lenhosas, estando relacionados com o sítio e a posição em que a madeira é retirada da árvore.

## 5. CONCLUSÕES

Para os parâmetros colorimétricos foi percebido um realce na cor da madeira de mogno africano para os tratamentos térmicos realizados (180 e 200 °C), tendo adquirido uma coloração mais uniforme e, com o mesmo padrão de cor para as posições albúrneo e cerne.

A madeira de cerne modificada termicamente tornou-se menos higroscópica, dimensionalmente mais estável e menos densa, para ambas as temperaturas (180 e 200 °C). O efeito da modificação térmica foi maior na redução da higroscopicidade e estabilidade dimensional que na redução da densidade aparente.

O teor de umidade de equilíbrio, densidade aparente e inchamento tangencial diminuíram com o aumento da temperatura de 180 para 200 °C. Para o inchamento volumétrico não houve diferença entre as temperaturas de modificação térmica testadas.

Redução na higroscopicidade e densidade foram causadas pela perda de massa da holocelulose, aumento do conteúdo de extrativos e lignina, promovidos pelas transformações dos carboidratos e lignina, causados pela temperatura.

Para os módulos de elasticidade (rigidez), tanto estático como o dinâmico, constatou-se, de forma geral, que aumentaram com a elevação das temperaturas dos tratamentos térmicos (180 e 200 °C). A redução da higroscopicidade, causada pela temperatura contribui para esse aumento. Os tratamentos térmicos não afetou o módulo de ruptura da madeira.

Correlações positivas entre os módulos de elasticidade estático e dinâmico, foram observadas onde aumentaram do controle para o tratamento a 180 °C e decresceu deste para o de 200 °C.

Em relação à posição e à direção de aplicação das tensões, constataram-se, também, correlações positivas. Tendo sido mais elevada para a madeira de albúrneo e, para a direção radial.

Para as análises de regressões, de maneira geral, as equações ajustadas foram diretamente proporcionais, entre os módulos de elasticidades estático e dinâmico, para todos os fatores considerados (condição, posição e direção).

A modificação térmica da madeira de mogno africano resultou em aumento dos teores de lignina e extrativos, tendo maior valor de lignina para a madeira de

cerne e de extrativos no alburno/cerne, para as amostras submetidas a 200 °C.

Os maiores valores de cinza foram para o cerne (180 e 200 °C) e o menor para a madeira não submetida à modificação térmica (controle). A temperatura de 200 °C proporcionou o menor valor de holocelulose para posição de cerne e o tratamento 180 °C para o alburno/cerne.

A temperatura mais indicada para a melhoria da resistência da madeira de mogno africano a térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*) foi a de 180 °C, por promover maior mortalidade e a morte mais rápida dos insetos, para ambas as posições analisadas (alburno/cerne e cerne interno).

As térmitas de madeira seca se aglomeraram em uma determinada posição no ensaio preferência alimentar, o que pode ser característico dos hábitos desse tipo de cupins, tendo os mesmos não demonstrado preferência em consumiram as amostras ensaiadas.

As térmitas subterrâneas (*Nasutitermes corniger*) consumiram mais as amostras tratadas a 200 °C e menos as submetidas a 180 °C. Tendo o alburno/cerne sido mais consumido (maior desgaste e menor mortalidade) que o cerne interno.

No geral, a temperatura de 180 °C é a mais indicada para a modificação térmica da madeira de mogno africano testada, por proporcionar melhor mudança na cor, nas propriedades físicas e mecânicas e na resistência da madeira a térmitas.

## 6. REFERÊNCIAS

ALÉN, R.; KOTILAINEN, R.; ZAMAN, A. Thermochemical behavior of Norway spruce (*Picea abies*) at 180-225°C. **Wood Science and Technology**, v.36, n.2, p.163-171, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00226-001-0133-1>.

ALVES, F.R. **Interações e funções ecológicas desempenhadas por Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) e térmitas (Isoptera) em áreas de pastagem e fragmentos de Mata Atlântica no sul de Minas Gerais, Brasil**. 2015. 63f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1102**: standard test method for ash in wood. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2008. 2p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1105**: standard test method for preparation of extractive-free wood. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2008. 2p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1413**: standard test method for wood preservatives by laboratory soil-block cultures. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2008, 7p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-143**: standard methods of testing small clear specimens of timber. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2008. 31p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-3345**: standard method for laboratory evaluation of the wood and other cellulosic materials for resistance to termite. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2008. 3p.

ARAÚJO, HJ.B.; MAGALHÃES, W.L.E.; OLIVEIRA, L.C. Durabilidade de madeira de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico. **Acta Amazônica**, v.42, n.1, p. 49-58, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672012000100006>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - BRACELPA. **Relatório estatístico**. São Paulo, 2011. 27p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS FLORESTAIS DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF**. Ano Base 2012, Brasília, 2013. 148p.

ATAYDE, C.M.; GONÇALEZ, J.C.; CAMARGOS, J.A. Características colorimétricas entre as seções anatômicas da madeira de muirapiranga (*Brosimum* sp.). **Cerne**, v.17, n.2, 2011.



AYADI, N. et al. Color stability of heat-treated wood during artificial weathering. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v.61, n.3, p.221-226, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-003-0389-2>.

BARROSO, A.B. **Silvicultura especial de arboles maderables tropicales**. Habana:Editorial Cientifico Técnico, 1987. 356p.

BATISTA, D.C., TOMASELLI, I., KLITZKE, R.J. Efeito do tempo e temperature de modificação térmica na redução do inchamento máximo da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciencia Florestal**, v.21, n.3, p.533-540, 2011.

BATISTA, D.C. et al. Effect of the Brazilian process of thermal modification on the physical properties of *Eucalyptus grandis* juvenile wood. **Maderas, Ciencia e Tecnología**, v.20, n.4, p.715-724, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2018005041701>.

BATISTA, D.C. et al. Effect of the Brazilian termal modification process on the chemical composition of *Eucalyptus grandis* juvenile wood: Part 1: Cell wall polymers and extractives contents. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v.18, n.2, p.273-284, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000025>.

BATISTA, D.C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro VAP HolzSysteme®**. 2012. 339 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BATISTA, D.C. Retificação térmica, termorreificação, tratamento térmico, tratamento com calor ou modificação térmica? **Ciências Florestal**, v.29, n.1, p.463- 480, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509822577>.

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

BEKHTA, P.; NIEMZ, P. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. **Holzforschung**, v.57, p.539-546, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1515/HF.2003.080>

BELEZIA, C.A. **Efeito da retificação térmica nas características e propriedades físicas de madeira *Pinus elliottii***. 2015. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Itapeva, 2015.

BELLON, K.R.R. **Modificação térmica da madeira de três espécies de florestas plantadas pelo processo VAP Holzsysteme®**. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BONFATTI JÚNIOR, E.A.; LENGOWSKI, E.C. Colorimetria aplicada à ciência e tecnologia da madeira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.38, e 201601394, p. 1-13, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201601394>

BOONSTRA, M.J.; TJEERDSMA, B. Chemical analysis of heat treated softwoods. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v.64, n.3, p.204-211, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-005-0078-4>

BOONSTRA, M.J. et al. Microstructural and physical aspects of heat treated wood. Part 1. Softwoods. **Maderas, Ciencia y Tecnología**, v.8, n.3, p.193-208, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2006000300006>.

BOTELHO, M.N. **Caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J. F. Macbr.** 2011. 27f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

BRESSAN, J. et al. Influência do tratamento térmico na estabilidade dimensional da madeira de amescla (*Trattinnickia burseraefolia* Mart.). 2014. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 21., 2014, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá, 2014. p.7002-7008.

BRITO, J.O.; NIVALDO GARCIA, J.; BORTOLETTO, G.; Chagas Pessoa, A. M.; Müller da Silva, P. H. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorreificação. **Cerne**, v.12, n.2, p.182-188, 2006.

CADEMARTORI, P.H.G. et al. A. Colour responses of two fast-growing hardwoods to two-step steam-heat treatments. **Materials Research**, v.17, n2, p.487-493, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392014005000031>.

CALONEGO, F.W.; SEVERO, E.T.D.; BALLARIN, A.W. Physical and mechanical properties of thermally-modified wood from *E. grandis*. **European Journal of Wood Products**, v.70, p.453-460, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-011-0568-5>

CAMARGOS, J.A.A.; GONÇALEZ, J.C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, n.71, p.30-41, 2001.

CAO, Y. et al. Evaluation of decay resistance for steam-heat-treated Wood. **BioResources**, v.6, n.4, p.4696-4704, 2011.

CARTER, F.L.; CAMARGO, C.R.R. Testing antitermitic properties of Brazilian woods and their extracts. **Wood Fiber Science**, v.15, n.4, p.350-357, 1983. Disponível: <<https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/916/916>>. Acesso em: 03 maio 2018.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

COLODETTE, J.L.; GOMIDE, J.L.; CARVALHO, D.M. Composição anatômica e química dos materiais lignocelulósicos: composição química de materiais lignocelulósicos. In: COLODETTE, J.L.; GOMES, F.J.B. (Ed.). **Branqueamento de polpa celulósica**: da produção da polpa marrom ao produto acabado. Viçosa: UFV, p.31-57, 2015.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 460**: Maderas: métodos de determinación de la humedad. Buenos Aires, 1972.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 461**: Maderas: método de determinación del peso específico aparente. Buenos Aires, 1972.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 462**: maderas: método de determinación de la contracción. Buenos Aires, 1972.

CONSTANTINO, R. **Cupins do Cerrado**. Rio de Janeiro: Technical Books Editora, 2015. 167p.

CONTE, B. et al. Propriedades físicas e colorimétricas da madeira termorretrificada de *Pinus elliottii* var. *elliottii*. **Scientia Forestalis**, v.42, n.104, p.555-563, 2014.

COSTA, J. D. A. C. et al. Fotodegradação de duas espécies de madeiras tropicais: jatobá (*Hymenaea courbaril*) e tauari (*Couratari oblongifolia*) submetidas à radiação ultravioleta. **Cerne**, v.17, n.1, p.133-139, 2011. DOI: 10.1590/S0104-77602011000100016.

D'ALMEIDA, M.L.O. Composição química da madeira e matérias-primas fibrosas. In: SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (Org.). **Celulose**. São Paulo: SENAI, p.11-36, 2013.

DIAS, A.H.S.; UMETSU, F.; BREIER, T.B. Avaliação do potencial de germinação do mogno-africano sob diferentes tipos de substrato e períodos de armazenamento. **Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes**, v.22, n.1, p.26-29, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i5.5666>

EGGLETON, P. et al. The diversity, abundance and biomass of termites under differing levels of disturbance in the Mbalmayo forest reserve, Southern Cameroon. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. v.351, n.1335, p.51-68. 1996. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.1996.0004>.

ESTEVEES, B.M.; DOMINGOS, I.; PEREIRA, M. H. Improvement of technological quality of eucalypt wood by heat treatment in air at 170-200 °C. **Forest Products Journal**, v.57, n.1/2, p.47-52, 2007.

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

ESTEVEES, 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. DOI: <https://doi.org/10.1515/HF.2008.057>

FERREIRA, M.D., MELO, R.R.D., ZAQUE, L.A.M., STANGERLIN, D.M. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de angelim-pedra submetida a tratamento térmico. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v.16, n.1, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.20191297>

FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION. **Thermowood® handbook**. 2003. 66 p. Citado por F. Balıkoğlu; T. K. Demircioğlu; O. İnal; A. Ataş; N. Arslan. Compression after low velocity impact tests of marine sandwich composites: Effect of intermediate wooden layer. **Composite Structures**, v.183, p.636-642, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.08.003>

FRANÇA, T.S.F.A. **Caracterização tecnológica das madeiras de duas espécies de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev. e *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss.)**. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.

FREITAS, A.S; GONÇALEZ, J.C.; DEL MENEZZI, C.H. Tratamento termomecânico e seus efeitos nas propriedades da *Simarouba amara* (Aubl.). **Floresta e Ambiente**, v.23, n.4, p.565-572, 2016. DOI: 10.1590/2179-8087.144115.

FREYMANN, B.P. The importance of termites (Isoptera) for the recycling of herbivore dung in tropical ecosystems. **European Journal of Entomology**, v.105, n.2 p.165-173, 2008.

GAFF, M.; KAČÍK, F.; GAŠPARÍK, M. Impact of thermal modification on the chemical changes and impact bending strength of European oak and Norway spruce wood. **Composite Structures**, v. 216, p. 80 - 88, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.02.091>

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

GARCIA, R.A.; LOPES, J.O.; SANTOS, W.A. Modificação da cor original da madeira de *Eucalyptus grandis* através de tratamentos termorretrificadores. **Cerne**, v. 20, n.3, p.449-457, 2014. DOI: 10.1590/01047760201420031410.

GLASS, S.V.; ZELINKA, A.L. Moisture relations and physical properties of wood. In: **Wood handbook: wood as an engineering material**. 100 ed. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, Chapter 4, 19 p. (General Technical Report, FPL-GTR, 190).

GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions**. New York: John Willey & Sons, p.241-226, 1971.

GOMIDE, J.L.; DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O papel**, v.47, n.8, p.36-38, 1986.

GONÇALEZ, J.C. et al. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, v.20, n.72, p.47-58, 2001.

GONÇALEZ, J.C. et al. Valorisation d'espèces brésiliennes de substitution pour l'industrie du meuble: tanimbuca et louro. **Bois & Forêts des Tropiques**, v.286, n.286, p.55- 64, 2005. DOI: <https://doi.org/10.19182/bft2005.286.a20263>

GONÇALVES, F.G. et al. Durabilidade natural de espécies florestais madeireiras ao ataque de cupim de madeira seca. **Floresta e Ambiente**, v.20, n.1, p.110-116, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.063>.

GÜNDÜZ, G.; AYDEMİR, D.; KORKUT, S. The effect of heat treatment on some mechanical properties and color changes of uludag Fr wood. **Drying Technology**, v.28, n.2, p.249-255, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373930903530162>.

HILL, C. **Wood modification**: chemical, thermal and other processes. West Sussex: John Wiley & Sons, 2006. 239p.

HIRATA, T.; INOUE, M.; FUKUI, Y. Pyrolysis and combustion toxicity of wood Treated with CCA. **Wood Science and Technology**, v.27, p.35-47, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00203408>

HOMAN, W. et al. Structural and other properties of modified wood. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 2000. British Columbia. **Proceeding...** British Columbia: WCTE, 2000. 8p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório IBÁ**. São Paulo, 2016. 100 p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório IBÁ**. São Paulo, 2017. 80p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS - IBF. **Mogno africano**. Disponível em: <<https://www.ibflorestas.org.br/conteudo/mogno-africano>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS / DIVISÃO DE MADEIRA. **IPT/DIMAD D – 2**: Ensaio acelerado de laboratório da resistência natural ou madeira preservada ao ataque de térmitas do gênero *Cryptotermes*. São Paulo: IPT/ DIMAD, 1980. 1p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11664-4:2008**: colorimetry – Part 4: CIE 1976 L\*a\*b\* Colour space. Genebra, 2008. 8 p.

JÄMSÄ, S.; VIITANIEMI, P. Heat treatment of wood: better durability with out chemicals. 1998. In: RAPP, A. O. Review on heat treatments of wood. In: SPECIAL SEMINAR: ENVIRONMENTAL OPTIMISATION OF WOOD PROTECTION, 2001. Antibes. **Proceedings...** Antibes: COST ACTION E 22, 2001, p.21-26.

JANIN, G.A. et al. Aesthetics appreciation of wood colour and patterns by colorimetry. part 1. colorimetry theory for the cielab system. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v.3, n.1/2, p.3-13, 2001. DOI: 10.4067/S0718-221X2001000100001

JEON, W.; LEE, S.H. Effects of tunnel structures of two termite species on territorial competition and territory size. **Journal of Asia Pacific Entomology**, v.17, n.3, p.199-205, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2014.01.004>

JESUS M. A. et al. Durabilidade natural de 46 espécies de madeira amazônica em contato com o solo em ambiente florestal. **Scientia Forestalis**, v.54, p.81-92, 1998.

JUIZO, C.G.F. et al. Propriedades tecnológicas da madeira de eucalipto submetida ao tratamento térmico. **Nativa**, v.6, n.5, p.537-542, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i5.5666>

JUODEIKIEN, I.; MINELGA, D. The influence of heating on wood hygroscopicity and dimensional stability. **Materials Science (Medziagotyra)**, v.9, n.2, p.209-212, 2003.

KAČÍKOVÁ, D. et al. Effects of thermal treatment on chemical, mechanical and colour traits in *Norway spruce wood*. **Bioresource Technology**, v.144, p.669-674, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.06.110>

KAMDEM, D.P.; PIZZI, A.; JERMANNAUD, A. Durability of heat-treated wood. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 60, p.1-6, 2002.

KARTAL, S. N. et al. Bioremediation and decay of wood treated with ACQ, micronized ACQ, nano-CuO and CCA wood preservatives. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.99, p.95-101, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.01.004>

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**. 4. ed. Curitiba: UFPR, 2013. 85p. (Manual Didático).

KOCAEFE, D.; PONCSAK, S.; BOLUK, Y. Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen. **Bioresources Technology**, v.3, n.2, p.517-537, 2008.

KOCH, G.; SCHMITT, U. Topochemical and electron microscopic analyses on the lignification of individual cell wall layers during wood formation and secondary changes. In: FROMM, J. (Ed.). **Cellular aspects of wood formation**. Berlin: Springer-Verlag, p.41-70, 2013.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology: solid wood**. Berlin: Springer-Verlag, v.1, 1968. 592p.

KONICA MINOLTA SENSING Inc. **Comunicação precisa da cor**. 1998. 57 p.

KRISHNA, K.; WEESNER, F. M. **Biology of termites**. New York: Academic Press. v.1, 1969. 1241p.

KVEDARAS, O.L. et al. Influência do cultivar silício e cana-de-açúcar no desgaste mandibular na broca-do-colmo *Eldana saccharina*. **Entomologia Agrícola e Florestal**, v.11, n.3, p.301-306, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2009.00430.x>

LAHR, F. A. R. et al. Avaliação de propriedades físicas e mecânicas de madeiras de jatobá (*Hymenaea stilbocarpa* Hayne) com diferentes teores de umidade e extraídas de regiões distintas. **Revista Árvore**, v.40, n.1, p.147-154, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000100016>

LAZAROTTO, M. et al. Resistência biológica e colorimetria da madeira termorretrificada de duas espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v.40, n.1, p.135-145, 2016. DOI: 10.1590/0100-67622016000100015.

LENZ, P. et al. The influence of cambial age on breeding for wood properties in *Picea glauca*. **Tree Genetics and Genomes**, v.7, n.3, p.641-653, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11295-011-0364-8>

LI, S.; LUNDQVIST, K.; WESTERMARK, U. Cleavage of syringylglycerol  $\beta$ -syringyl ethers during soda cooking. **Nordic Pulp & Paper Research Journal**, v.15, n.3, p.205-210, 2000.

LIMA, S.R. et al. Estudo dos constituintes macromoleculares, extrativos voláteis e compostos fenólicos da madeira de candeia-*Moquinia polymorpha* (Less.) DC. **Ciência Florestal**, v.17, n.2, p.145-155, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/198050981946>

LIN, L.D. et al. Leachability, metal corrosion, and termite resistance of wood treated with copper-based preservative. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.63, n.4, p.533-538, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2008.07.012>

LITTLE, N.S.; SCHULTZ, T.P.; NICHOLAS, D.D. Termite-resistant heartwood. Effect of antioxidants on termite feeding deterrence and mortality. **Holzforschung**, v.64, n.3, p.395-398, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1515/hf.2010.053>

LOWDEN, L.A.; HULL, T.R. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. **Fire Science Reviews**. v.2, n.1, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1186/2193-0414-2-4>

LU, J. et al. Stilbene impregnation retards brown-rot decay of scots pine sapwood. **Holzforschung**, v.70, n.3, p.261-266, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1515/hf-2014-0251>

MARIANO, R.R. **Características químicas e físicas de mogno africano (*Khaya ivorensis*)**. 2017. 38p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

MARTINS, M. F. et al. Colorimetria como ferramenta de agrupamento de madeira de clones de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.35, n.84, p.443-449, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.84.929>

McCONNEL, T. E. et al. Technical note: the susceptibility of chemically treated Southern hardwoods to subterranean termite attack. **Wood Fiber Science**, v.42, n.2, p.252-254, 2010.

MEDEIROS NETO, P.N. **Resistência natural da madeira de sete espécies de *eucalyptus* a agentes xilófagos**. 2017. 123 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2017.

MEDEIROS NETO, P.N.; PAES, J.B.; SEGUNDINHO, P.G.A. Determinações dos módulos de elasticidade e ruptura de madeiras por técnicas não destrutivas e destrutiva. **Scientia Forestalis**, v.44, n.111, p.683-690, 2016. DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n111.14](https://doi.org/10.18671/scifor.v44n111.14)

MENEZES, W.M. et al. Modificação térmica nas propriedades físicas da madeira. **Ciência Rural**, n.44, p.1019-1024, 2014.

METSÄ-KORTELAINEN, S.; ANTIKAINEN, T.; VIITANIEMI, P. The water absorption of sapwood and heartwood of Scots pine and Norway spruce heat-treated at 170 C, 190 C, 210 C and 230 C. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 64, n. 3, p. 192-197, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-005-0063-y>.

MILITZ, H.; TJEERDSMA, B. Heat treatment of wood by the Plato-process. In: SPECIAL SEMINAR: ENVIRONMENTAL OPTIMISATION OF WOOD PROTECTION, 2001. Antibes. **Proceedings...** Antibes: COST ACTION E 22, 2001, p.27-37.

MIRANDA, F.S.M.P. A Mudança do paradigma econômico, a revolução industrial e a positivado do direito do trabalho. **Direito, Justiça e Cidadania**, v.3, n.1, p.1-24, 2012.

MODES, K. S. et al. Efeito da termorreificação nas propriedades mecânicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v.27, n.1, p. 291-302, 2017.

MONTES, C. S. et al. Variation in wood color among natural populations of five tree and shrub species in the Sahelian and Sudanian ecozones of Mali. **Canadian Journal of Forest Research**, v.43, n.6, p.552-562, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2012-0510>.

MORAES NETO, S.P. et al. **Propriedades mecânicas da madeira de cinco procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* implantadas no Cerrado do Distrito Federal**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. 20p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 251).

MORAIS, S.A.L.; NASCIMENTO, E.A.; MELO, D.C. Análise da madeira do *Pinus oocarpa* parte II: caracterização estrutural da lignina da madeira moída. **Revista Árvore**, v.29, p.471- 478, 2005.

MORI, C. L. S. O. et al. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* pp. **Cerne**, v.11, n.2, p.137-146, 2005.

MORI, C.L.S.O. et al. Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. **Ciência Florestal**, v.14, n.2, p.123-132, 2004. DOI: [10.5902/19805098](https://doi.org/10.5902/19805098)



MORRELL, J.J. Protection of wood and based materials. In: KUTZ, M. (Org.). **Environmental degradation of materials**. New York: Elsevier, p.407-438, 2012.

MÖTTÖNEN, V. **Variation of color and selected physical and mechanical properties related to artificial drying of sawn silver birch (*Betula pendula* Benth) timber from plantations**. 2005. 43f. Dissertations (Mesters in Forestales) - Faculty of Forestry, University of Joensuu, 2005.

MOURA, F.D.G. **Colorimetria, molhabilidade, resistência e rigidez da madeira de *Khaya ivorensis* A. Chev. tratada termicamente**. 2014. 34f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2014.

MOURA, L.F.; BRITO, J.O.; BORTOLETTO JÚNIOR, G. Efeitos da termorreificação na perda de massa e propriedades mecânicas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*. **Floresta**, v.42, n.2, p.305-314, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v42i2.17635>.

NAVI, P.; SANDBERG, D. **Thermo-hydro-mechanical wood processing**. Boca Raton: CRC Press, 2012. 280 p.

OLIVEIRA, J.T.S.; PAES, J.B.; VIDAURRE, G.B. Resistência biológica da madeira de espécies de eucalipto ao ataque de cupim de madeira seca. **Scientia Forestalis**, v.45, n.113, p.145-150, 2017. DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n113.14](http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n113.14)

OLIVEIRA, J.T.S. et al. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.819-826, 2005.

OLTEAN, L.; TEISCHINGER, A.; HANSMANN, C. Influence of temperature on cracking and mechanical properties of wood during wood drying - areview. **BioResources**, v.2, n.4, p.789-811, 2007.

OSTMAN, B.; TSANTARIDIS, L. Innovative eco-efficient high fire performance wood products for demanding applications. **Final report for Vinnova-Tekes project InnoFireWood, Wood Technology**. Stockholm, Sweden, 2006.

PAES, J. B. et al. Biological resistance of thermally treated *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson and *Pinus taeda* L. woods against xylophagous termites. **Revista Árvore**, v.40, n.3, p. 535-541, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000300017>.

PAES, J.B. et al. Efeitos dos extrativos e cinzas na resistência natural de quatro madeiras a térmitas xilófagos. **Cerne**, v.19, n.3, p.399-405, 2013.

PAES, J.B. et al. Resistência natural de nove madeiras do semiárido brasileiro a cupins subterrâneos. **Cerne**. v.9, n.1, p.36-47, 2003.

PAES, J.B.; VITAL, B.R. Resistência natural da madeira de cinco espécies de eucalipto a cupins subterrâneos, em testes de laboratório. **Revista Árvore**, v.24, n.1, p.97-104, 2000.

PALA, H. Constituição e mecanismos de degradação biológica de um material orgânico: a madeira. **Construção Magazine**, n.20, p.54-62, 2007.

PANSHIN, J.A.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York: McGraw Hill, 1980. 722p.

PAULA, M.H. et al. Heat treatment effect on the color of the heartwood and sapwood in a sapucaia tree (*Lecythis Pisonis Cambess*). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v.10, n.13. p.108-115, 2016.

PERTUZZATTI, A. Propriedades físicas da madeira de *Pinus elliotti* var. *elliottii* termorretrificada sob diferentes atmosferas. **Ciência da Madeira**, v.7, n.15, p.7-15, 2016. DOI: 10.12953/2177-6830/ rcm.v7n1p7-15.

PERTUZZATTI, A. et al. Alterações físicas e superficiais da madeira de canemaçu (*Tetrorchidium rubrivenium*) termorretrificada. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.10, n.1, 2015. DOI:10.5039/agraria.v10i1a4999.

PINHEIRO, A.L. et al. Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilização dos mognos africanos (*Khaya* spp.). **Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura**, 2011.102 p.

PRIADI, T.; HIZIROGLU, S. Characterization of heat treated wood species. **Materials & Design**, v.49, p.575-582, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.12.067>

RAPP, A.O.; SAILER, M. Oil heat treatment of wood in Germany - State of the art. In: SPECIAL SEMINAR: ENVIRONMENTAL OPTIMISATION OF WOOD PROTECTION, 2001. Antibes. **Proceedings...** Antibes: COST ACTION E 22, 2001, p.47-64.

REINPRECHT, L. **Wood deterioration, protection and maintenance**. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2016, 366p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119106500>

RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A.C.; SCOLFORO, J.R.S. O Cultivo do mogno africano (*Khaya* spp.) e o crescimento da atividade no Brasil. **Floresta Ambiente**, v.24, n.7, p.2179-8087, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.076814>

RIBEIRO, E.S. et al. Avaliação de propriedades mecânicas da madeira por meio de métodos destrutivos e não- destrutivos. **Nativa**, v.4, n.2, p.103-106, 2016. DOI: 10.14583/2318-7670.v04n02a09

ROCHA, M.F.V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. 2011. 71f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

ROSS, R.J.; PELLERIN, R.F. **Nondestructive testing for assessing wood members in structures**. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1994. 39 p. (General Technical Report, FPL-GTR, 70).

ROUSSET, P.; PERRÉ, P.; GIRARD, P. Modification of mass transfer properties in poplar wood (*P. robusta*) by a thermal treatment at high temperature. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v.62, n.2, p.113-119, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-003-0459-5>

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

SEHLSTEDT-PERSSON, M.; KARLSSON, O. Natural durability and phenolic content in dried scots pine heartwood. **BioResources**, v.5, n.2, p.1126-1142, 2010.

SHMULSKY, R.; P. JONES, P.D. Durability and protection. In: SHMULSKY, R.; P. JONES, P.D. **Forest products and wood science: an introduction**. 6. ed. Iowa: Wiley-Blackwell, chapter 10, p.229-252, 2011.

SILVA, L.F. et al. Deterioração da madeira de *Eucalyptus* spp. por fungos xilófagos. **Cerne**, p. 393-400, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201420031462>

SILVA, M.R. **Efeito do tratamento térmico nas propriedades química, física e mecânica em elementos estruturais de *Eucalipto citriodora* e *Pinus taeda***. 2012. 223f. Tese (Doutorado em Estruturas da Madeira) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2012.

SILVA, M.R. et al. Chemical and mechanical properties changes in *Corymbia citriodora* wood submitted to heat treatment. **International Journal of Materials Engineering**, v.5, n.4, p.98-104, 2015. DOI: 10.5923/j.ijme.20150504.04

SKAAR, C. **Wood-water relations**. New York: Springer, 1988. 283p. (Springer Series in Wood Science).

SOUZA, J.I. et al. Selected species of Mucorales from soil contaminated with toxic metals in São Paulo State, Brazil. **Mycotaxon**, v.106, p.273-288, 2008.

STANGERLIN, D.M. **Monitoramento de propriedades de madeiras da Amazônia submetidas ao ataque de fungos apodrecedores**. 2012. 259f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

STANGERLIN, D.M. et al. Propriedades de flexão estática da madeira de *Carya illinoensis* em duas condições de umidade. **Ciência da Madeira**, v.1, n.2, p.70-79, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.15210/cmadv1i2.4020>

STANGERLIN, D.M; MELO, R.R.; DOMINGUES, J.M. X. Determinação da resistência ao impacto para as madeiras de *Eucalyptus dunnii*, *Corymbia citriodora* e *Pouteria pachycarpa*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** 2008, Londrina: UEL, IBRAMEM. CD ROM.

SUN, Q.F. et al. Flame retardancy of wood treated by TiO<sub>2</sub>/ZnO coating. **Surface Engineering**, v.28, n.8, p.555-559, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1179/1743294412Y.0000000027>

SUNDQVIST, B. **Colour changes and acid formation in wood during heating**. 2004. 157 f. Thesis (Doctoral In Wood Material Science) - Luleå University of Technology, Luleå, 2004.

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

TAPPI, 1996. Métodos de Teste TAPPI. TAPPI Press. Atlanta 1996.

TARGA, L.A.; BALLARIN, A.W.; BIAGGIONI, M.A.M. Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal. **Revista Engenharia Agrícola**, v.25, n.2, p.291-299, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000200001>.

TAYASU, I. et al. Nitrogen and carbon isotope ratios in termites: an indicator of trophic habit along the gradient from wood-feeding to soil-feeding. **Ecological Entomology**, v.22, n.3, p.343-351, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.1997.00070.x>

TEIXEIRA, V. C. M. **Avaliação da usinagem da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**. 2011, 45f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

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

WANG, L. et al. Recycling contaminated wood into eco-friendly particleboard using green cement and carbon dioxide curing. **Journal of Cleaner Production**, v.137, p.861-870, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.180>

WIKBERG, H.; MAUNU, S.L. Characterisation of thermally modified hard-and softwoods by <sup>13</sup>C CPMAS NMR. **Carbohydrate Polymers**, v.58, n.4, p.461-466, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.08.008>

WINANDY, J.E.; ROWELL, R.M. 11 Chemistry of Wood Strength. **Handbook of wood chemistry and wood composites**, v. 303, 2005. DOI: 10.1021/ba-1984-0207.ch005

XAVIER, G.S. **Influência de tratamentos térmicos em duas propriedades mecânicas das madeiras de *Pinus sp.* e *Eucalyptus urograndis***. 2013. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Faculdade e Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

YILDIZ, S.; GEZER, E.D.; YILDIZ, U.C. Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. **Building and environment**, v. 41, n. 12, p. 1762-1766, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.017>

ZANUNCIO, A.J.V. et al. Extractives and energetic properties of wood and charcoal. **Revista Árvore**, v.38, n.2, p.369-374, 2014 (a). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000200018>

ZANUNCIO, J.A.V. et al. Química e colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden termorretrificada. **Revista Árvore**, v. 38, n. 4, 2014 (b).

ZANUNCIO, J.A.V.; FARIAS, E.S.; SILVEIRA, T.A. Termorretrificação e colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**, v.21, n.1, p.85-90, 2014 (c). DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2014.005>

## APÊNDICES

APÊNDICE A - Resumo das análises de variância para os parâmetros colorimétricos analisados em função das posições na madeira, condições e temperaturas de tratamentos testados.

Tabela 1A - Resumo das análises de variância para os parâmetros  $h^*$ ,  $C^*$ ,  $L^*$  e coordenadas  $a^*$  e  $b^*$ , para os sentidos tangencial e radial na madeira de mogno africano.

<b>Sentido Tangencial na Madeira</b>						
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Quadrados Médios</b>				
		<b>h</b>	<b>C</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
Pos	1	0,4925**	71,591**	926,608**	282,792**	0,0125 <sup>ns</sup>
Condição	5	0,0042 <sup>ns</sup>	49,887**	233,365**	7,737**	46,0860**
Pos x Cond	5	0,0059 <sup>ns</sup>	1,001 <sup>ns</sup>	26,571 <sup>ns</sup>	1,651 <sup>ns</sup>	0,6117 <sup>ns</sup>
Resíduo	60	0,0051	3,009	13,451	1,702	3,2079

<b>Sentido Radial na Madeira</b>						
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Quadrados Médios</b>				
		<b>h</b>	<b>C</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
Pos	1	0,2301**	38,832**	519,236**	146,131**	0,0761 <sup>ns</sup>
Condição	5	0,0035 <sup>ns</sup>	95,756**	328,023**	15,974**	82,7402**
Pos x Cond	5	0,0028 <sup>ns</sup>	0,298 <sup>ns</sup>	7,266 <sup>ns</sup>	0,903 <sup>ns</sup>	0,6137 <sup>ns</sup>
Resíduo	60	0,0053	4,162	19,431	3,402	3,0049

Pos: Posição; Cond: Condição; FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; \*\* Significativo pelo teste F ( $p \leq 0,01$ ); <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ).

Tabela 2A - Resumo das análises de variância para variação da cor ( $\Delta E^*$ ) para os sentidos tangencial e radial na madeira de mogno africano.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Quadrados Médios</b>	
		<b>Sentido Tangencial</b>	<b>Sentido Radial</b>
Pos	1	12,9288 <sup>ns</sup>	4,2794 <sup>ns</sup>
Temp	2	15444,59**	14718,27**
Pos x Temp	2	6,5702 <sup>ns</sup>	3,8669 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	16,3014	12,3324

Pos: Posição; Temp: Temperatura; FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; \*\* Significativo pelo teste F ( $p \leq 0,01$ ); <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ).

APÊNDICE B - Resumo das análises de variância para teor de umidade densidades, contrações parcial e total e inchamentos parcial e total, analisados em função posições na madeira e temperaturas de tratamentos testados.

Tabela 1B - Resumo das análises de variância para o teor de umidade e densidades (básica e aparente) para os sentidos tangencial e radial na madeira de mogno africano.

FV	GL	Quadrados Médios		
		Teor de Umidade	Densidade Básica	Densidade Aparente
Pos	1	0,0220**	0,1141**	0,2276**
Temp	2	0,0267**	0,0038 <sup>ns</sup>	0,0125**
Pos x Temp	2	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0022 <sup>ns</sup>	0,0017 <sup>ns</sup>
Resíduo	126	0,0003	0,0025	0,0035

Pos: Posição; Temp: Temperatura; FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; \*\* Significativo pelo teste F ( $p \leq 0,01$ ); <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ).

Tabela 2B - Resumo das análises de variância para a contração parcial para os sentidos volumétrico, tangencial e radial na madeira de mogno africano. Dados transformados.

FV	GL	Quadrados Médios		
		Radial	Tangencial	Volumétrico
Pos	1	0,0087**	0,0041**	0,0130**
Temp	2	0,0011*	0,0028**	0,0039**
Pos x Temp	2	0,0001 <sup>ns</sup>	0,0030**	0,0035*
Resíduo	126	0,0004	0,0006	0,0008

Pos: Posição; Temp: Temperatura; FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; \*\* Significativo pelo teste F ( $p \leq 0,01$ ); \* Significativo pelo teste F ( $0,01 > p \leq 0,05$ ); <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ).

Tabela 3B - Resumo das análises de variância para a contração total para os sentidos volumétrico, tangencial e radial na madeira de mogno africano. Dados transformados.

FV	GL	Quadrados Médios		
		Radial	Tangencial	Volumétrico
Pos	1	0,0024*	0,0070**	0,0099**
Temp	2	0,0020*	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0022*
Pos x Temp	2	0,0012 <sup>ns</sup>	0,0007 <sup>ns</sup>	0,0009 <sup>ns</sup>
Resíduo	126	0,0005	0,0004	0,0005

Pos: Posição; Temp: Temperatura; FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; \*\* Significativo pelo teste F ( $p \leq 0,01$ ); \* Significativo pelo teste F ( $0,01 > p \leq 0,05$ ); <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ).



Tabela 4B - Resumo das análises de variância para o inchamento parcial para os sentidos volumétrico, tangencial e radial na madeira de mogno africano. Dados transformados.

FV	GL	Quadrados Médios		
		Radial	Tangencial	Volumétrico
Pos	1	0,0001 <sup>ns</sup>	-	0,0022 <sup>ns</sup>
Temp	2	0,0064**	-	0,0142**
Pos x Temp	2	0,0001 <sup>ns</sup>	-	0,0002 <sup>ns</sup>
Resíduo	126	0,0007	-	0,0009

Pos: Posição; Temp: Temperatura; FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; \*\* Significativo pelo teste F ( $p \leq 0,01$ ); <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ).

Tabela 5B - Resumo das análises de variância para o inchamento total para os sentidos volumétrico, tangencial e radial na madeira de mogno africano. Dados transformados.

FV	GL	Quadrados Médios		
		Radial	Tangencial	Volumétrico
Pos	1	0,0066**	0,0104**	0,0199**
Temp	2	0,0055**	0,0004 <sup>ns</sup>	0,0034**
Pos x Temp	2	0,0001 <sup>ns</sup>	0,0010 <sup>ns</sup>	0,0007 <sup>ns</sup>
Resíduo	126	0,0006	0,0005	0,0006

Pos: Posição; Temp: Temperatura; FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; \*\* Significativo pelo teste F ( $p \leq 0,01$ ); <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ).

Tabela 6B - Resumo das análises de variância para anisotropia na madeira de mogno africano.

FV	GL	Quadrados Médios
Pos	1	0,0119 <sup>ns</sup>
Temp	2	0,2934 <sup>ns</sup>
Pos x Temp	2	0,7569 <sup>ns</sup>
Resíduo	126	0,2738

Pos: Posição; Temp: Temperatura; FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ).

APÊNDICE C - Resumo das análises de variância para teor de umidade, módulos de elasticidade dinâmico (MOE<sub>d</sub>) e estático (MOE<sub>e</sub>) e módulo de ruptura (MOR) analisados em função das temperaturas de tratamento testados.

Tabela 1C - Resumo das análises de variância para o teor de umidade, na madeira de mogno africano.

FV	GL	Quadrados Médios
Pos	1	0,0001 <sup>ns</sup>
Temp	2	0,0068**
Pos x Temp	2	0,0001 <sup>ns</sup>
Resíduo	126	0,0001

Pos: Posição; Temp: Temperatura; FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; \*\* Significativo pelo teste F ( $p \leq 0,01$ ); <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ).

Tabela 2C - Resumo das análises de variância para os MOE<sub>d</sub>, MOE<sub>e</sub> e MOR para a madeira de mogno africano.

FV	GL	Quadrados Médios	
		MOE <sub>d</sub>	MOE <sub>e</sub>
Posição	1	1159203 <sup>ns</sup>	261875,9 <sup>ns</sup>
Sentido	1	1368117 <sup>ns</sup>	1059070 <sup>ns</sup>
Temp	2	1229795 <sup>ns</sup>	2148843*
Pos x Sent	1	203536,1 <sup>ns</sup>	48129,55 <sup>ns</sup>
Pos x Temp	2	4780024 <sup>ns</sup>	657271,9 <sup>ns</sup>
Sent x Temp	2	161530,9 <sup>ns</sup>	21253,03 <sup>ns</sup>
Pos x Sent x Temp	2	89648,31 <sup>ns</sup>	272179,3 <sup>ns</sup>
Resíduo	60	0,001x10 <sup>-6</sup>	673996,9

FV	GL	Quadrado Médio MOR
Posição	1	19512,23 <sup>ns</sup>
Temp	2	4507,48 <sup>ns</sup>
Pos x Temp	2	8058,60 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	17329,62

Pos: Posição; Sent: Sentido; Temp: Temperatura; FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; \* Significativo pelo teste F ( $0,01 > p \leq 0,05$ ); <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ).

APÊNDICE D - Resumo das análises de variância para os ensaios biológicos com térmitas analisados em função das temperaturas de tratamento testados.

Tabela 1D - Resumo das análises de variância para o ensaio biológico de alimentação forçada com térmitas de madeira seca para mortalidade, desgaste, perda de massa e número de dias para a morte das térmitas em contato com a madeira de mogno africano. Dados transformados.

FV	GL	Quadrados Médios			
		Mortalidade	Desgaste	Perda de Massa	Dias
Pos	1	0,9973**	0,2184 *	0,0005 <sup>ns</sup>	13,6370**
Temp	2	0,5852**	0,0828 <sup>ns</sup>	0,0011**	5,6383**
Pos x Temp	2	0,5212**	0,0462 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>ns</sup>	5,4400*
Resíduo	30	0,0504	0,0510	0,0002	1,0199

Pos: Posição; Temp: Temperatura; FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; \*\* Significativo pelo teste F ( $p \leq 0,01$ ); \* Significativo pelo teste F ( $0,01 > p \leq 0,05$ ); <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ).

Tabela 2D - Resumo das análises de variância para o ensaio biológico de alimentação forçada com térmitas subterrâneas para mortalidade, desgaste e perda de massa da madeira de mogno africano. Dados transformados.

FV	GL	Quadrados Médios		
		Mortalidade	Desgaste	Perda de Massa
Pos	1	2,6359**	8,1542**	0,2431**
Temp	2	0,1554 <sup>ns</sup>	0,9087 <sup>ns</sup>	0,0415 *
Pos x Temp	2	0,1008 <sup>ns</sup>	0,0545 <sup>ns</sup>	0,0089 <sup>ns</sup>
Resíduo	66	0,1124	0,3067	0,0113

Pos: Posição; Temp: Temperatura; FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; \*\* Significativo pelo teste F ( $p \leq 0,01$ ); \* Significativo pelo teste F ( $0,01 > p \leq 0,05$ ); <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ).