



**DAIANE DE MOURA BORGES MARIA**

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAS DE SECAGEM  
PARA MADEIRAS DE *Eucalyptus* DE MEIA ROTAÇÃO**

**Lavras – MG  
Fevereiro de 2020**

**DAIANE DE MOURA BORGES MARIA**

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAS DE SECAGEM PARA MADEIRAS DE  
*Eucalyptus* DE MEIA ROTAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Natalino Calegario

Orientador

Prof. Dr. José Tarcisio Lima

Co-orientador

**Lavras – MG**

**Fevereiro de 2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Maria, Daiane de Moura Borges.

Desenvolvimento de programas de secagem para madeiras de  
*Eucalyptus* de meia rotação / Daiane de Moura Borges Maria. -  
2020.

44 p. : il.

Orientador(a): Calegario Natalino.

Coorientador(a): José Tarcisio Lima.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Secagem da madeira. 2. Qualidade da madeira. 3. Madeiras  
jovens. I. Natalino, Calegario. II. Lima, José Tarcisio. III. Título.

**DAIANE DE MOURA BORGES MARIA**

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAS DE SECAGEM PARA MADEIRAS DE  
*Eucalyptus* DE MEIA ROTAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 17 de fevereiro de 2020.

Prof. Dr. José Tarcisio Lima           UFLA

Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke       UFPR

Prof. Dr. Paulo Ricardo Gherard Hein   UFLA

Prof. Dr. Natalino Calegario

Orientador

**Lavras – MG**

**Fevereiro de 2020**

*Ao pequeno Luís Miguel (in memoriam)*

*Dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus que está sempre ao meu lado, nada sou e nada faz sentido em minha vida sem ele.

Aos meus pais Inácio e Aldenia, pela loucura mais linda de largarem tudo e virem morar comigo durante esse mestrado! Obrigada por tudo que fazem e são para mim.

Aos meus irmãos Dailton, Douglas e Adaticlea, pelo amor e por acreditarem em mim.

Aos meus vizinhos, pelo carinho e proteção de todos os dias.

Ao meu Orientador, Natalino Calegario, pela confiança, ensinamentos, paciência e amizade.

Ao meu Co-orientador, Prof. José Tarcisio Lima, pelos ensinamentos, paciência dedicação e amizade.

Ao Coordenador do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Prof.

Paulo Ricardo Gherardi Hein, pela prontidão em me ajudar em todos os momentos que precisei e pela amizade.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, pelos ensinamentos valiosos e amizade.

Ao meu futuro Orientador de doutorado, Prof. Ricardo Jorge Klitzke, pela disposição em ser membro da banca.

Ao Prof. Ivaldo Pontes Jankowsky, pela disponibilidade e contribuição.

Aos meus amigos Evelize, Hellen, Letícia, Dáfilla, Michelly, Otávio, Bruno, Leonardo, Yony, José, Iara, Renato, Pâmela, Camila, Emilly, Dianessa, Emanuela, Heloíse, Marina, Laura, João, Bruna, Taiane e Fernanda por se fazerem presentes além da minha vida acadêmica e a todos os demais amigos pela amizade e ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Às secretárias Raisa e Francisca, por tantas ajudas, paciência e amizade.

À funcionária Adriana, pelo cafezinho e carinho de todos os dias.

Aos técnicos Carlos, Heber e Clarret, pelos ensinamentos, prontidão e amizade.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da madeira, pela oportunidade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de mestrado, contribuindo com minha formação acadêmica.

## RESUMO

Por apresentar características desejáveis ao setor madeireiro, existe atualmente uma ampla disponibilidade de espécies do gênero *Eucalyptus* no mercado, principalmente em idades de meia rotação, tornando indispensável o engajamento em pesquisas relacionadas à secagem e qualidade de madeiras jovens para seu melhor aproveitamento. Assim, o objetivo principal que norteou a realização deste estudo foi elaborar programas de secagem para madeiras de *Eucalyptus* de meia rotação. Foram selecionados 4 indivíduos do clone 58 (*E. urophylla* x *E. camaldulensis*) e 4 indivíduos do clone GG100 (*E. urophylla* x *E. grandis*) de um plantio na cidade de Luminárias-MG, com 11 e 10 anos de idade, respectivamente. Os corpos de prova foram selecionados de três alturas do fuste, denominados como base, meio e altura total comercial da árvore. Posteriormente, parte dos corpos de prova foram destinados para ensaios de secagem nas temperaturas de 100°C, 80°C e 60°C e os demais foram utilizados para determinar a densidade básica e teor de umidade inicial, realizado pelo método da imersão e método gravimétrico, respectivamente. Para definição dos programas de secagem foram realizados cálculos utilizando-se amostras nas dimensões de 100 x 50 x 10 mm, considerando-se sua área superficial como 130 cm<sup>2</sup> (valor encontrado a partir da fórmula específica para área superficial). Foi realizada a interpolação dos dados de teor de umidade das amostras para obter-se os tempos exatos em que cada amostra atingiu 30% e 5% de teor de umidade. Para obtenção das massas das amostras com 30% e 5% de teor de umidade, isolou-se a massa úmida, a partir da fórmula do teor de umidade. Os parâmetros dos programas de secagem encontrados a partir de todos esses cálculos, foram denominados como “Equação Atualizada”. Foram reproduzidos os cálculos citados anteriormente para definição de programas de secagem de acordo com o recomendado pela literatura para nível de comparação, os quais foram denominados como “Equação Padrão”. Observou-se que o clone 58 apresentou menor teor de umidade inicial em relação ao clone GG100, bem como maior tempo de secagem em cada ensaio e maior média de densidade. Verificou-se que houve diferença significativa entre as equações “Padrão” e “Atualizada” em todos os ensaios, para todos os parâmetros de programa de secagem, exceto para o potencial de secagem no ensaio a 100°C. Foi possível definir três programas de secagem para cada clone. A comparação entre os três ensaios de secagem revelou que o ensaio à temperatura de 80°C gerou parâmetros para programa de secagem mais adequados para ambos os clones.

**Palavras-chave:** Secagem da madeira. Qualidade da madeira. Relação água-madeira. Madeiras jovens. Clones de *Eucalyptus*.

## ABSTRACT

Due to its desirable characteristics to the timber sector, there is currently a wide availability of species of the genus *Eucalyptus* on the market, mainly in middle rotation ages, making it essential to engage in research related to drying and quality of young wood for its better use. Thus, the main objective that guided the realization of this study was to elaborate drying programs for *Eucalyptus* woods of half rotation. Were selected 4 individuals from clone 58 (*E. urophylla* x *E. camaldulensis*) and 4 individuals from clone GG100 (*E. urophylla* x *E. grandis*) from a plantation in the city of Luminárias-MG, with age 11 and 10 years old, respectively, were selected. The proof bodies were selected from three heights of the tree stem, named as base, middle and total commercial height of the tree. Subsequently, part of the specimens was used for drying tests at temperatures of 100°C, 80°C and 60°C and the rest were used to determine the basic density and initial moisture content, carried out by the immersion method and gravimetric, respectively. To define the drying programs, calculations were performed using samples in the dimensions of 100 x 50 x 10 mm, considering its surface area as 130 cm<sup>2</sup> (value found from the specific formula for surface area). The moisture content data of the samples were interpolated to obtain the exact times when each sample reached 30% and 5% moisture content. To obtain the sample masses with 30% and 5% moisture content, the wet mass was isolated from the moisture content formula. The parameters of the drying programs found from all these calculations, were called "Updated Equation". The calculations mentioned above were reproduced for the definition of drying programs according to what is recommended by the literature, for the level of comparison, which were called "Standard Equation". It was observed that clone 58 had a lower initial moisture content compared to clone GG100, as well as a longer drying time in each test and a higher average density. It was found that there was a significant difference between the "Standard" and "Updated" equations in all tests, for all drying program parameters, except for the drying potential in the test at 100°C. It was possible to define three drying programs for each clone. The comparison between the three drying tests revealed that the test at 80 ° C generated appropriate drying program parameters for both clones.

**Keywords:** Drying of wood. Wood quality. Water-wood relationship. Young woods. *Eucalyptus* clones.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Algumas toras das árvores selecionadas.....	23
<b>Figura 2</b> Esquema de retirada de amostras do material de estudo.....	24
<b>Figura 3.</b> Esquema de retirada dos corpos de prova de uma tábua.....	25
<b>Figura 4.</b> Curva de secagem em ensaio a 100°C, 80°C e 60°C, em estufa de laboratório, para amostras de madeiras dos clones 58 e GG100, aos 11 e 10 anos de idade.....	32

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Programa de secagem da madeira.....	19
<b>Tabela 2.</b> Escore que representa as rachaduras de topo.....	28
<b>Tabela 3.</b> Médias de teor de teor de umidade da madeira por clone.....	30
<b>Tabela 4.</b> Médias de densidade básica da madeira por clone.....	30
<b>Tabela 5.</b> Médias de taxas de secagem com valores a partir de cálculos atualizados e cálculos padrões, para madeiras dos clones 58 e GG100 em ensaio a 100°C, 80°C e 60°C.....	33
<b>Tabela 6.</b> Médias para Temperatura inicial, Temperatura final e Potencial de secagem, para o clone 58, em ensaio a 100°C, 80°C e 60°C.....	35
<b>Tabela 7.</b> Médias para as rachaduras nas madeiras do clone 58 e GG100, para os ensaios a 100°C, 80°C e 60°C.....	36
<b>Tabela 8:</b> Programa de secagem elaborado para madeira do clone 58, a partir do ensaio a 100°C.....	36
<b>Tabela 9.</b> Programa de secagem elaborado para madeira do clone GG100, a partir do ensaio a 100°C.....	37
<b>Tabela 10:</b> Programa de secagem elaborado para madeira do clone 58, a partir do ensaio a 80°C.....	37
<b>Tabela 11.</b> Programa de secagem elaborado para madeira do clone GG100, a partir do ensaio a 80°C.....	37
<b>Tabela 12.</b> Programa de secagem elaborado para madeira do clone 58, a partir do ensaio a 60°C.....	38
<b>Tabela 13:</b> Programa de secagem elaborado para madeira do clone GG100, a partir do ensaio a 60°C.....	38

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO LITERÁRIA .....	15
2.1 Setor de florestas plantadas .....	15
2.2 Gênero <i>Eucalyptus</i> .....	15
2.3 Madeira de <i>Eucalyptus</i> .....	17
2.4 Secagem em estufa convencional.....	17
2.5 Programas de secagem da madeira .....	18
2.6 Defeitos de secagem .....	21
2.7 Área superficial das amostras para secagem drástica.....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Caracterização do local e do experimento, seleção e amostragem dos clones...23	
3.2 Coleta do material de estudo .....	23
3.3 Determinação do teor de umidade e densidade básica.....	24
3.4 Elaboração de Programas de Secagem.....	25
3.5 Atualização da área das amostras para secagem drástica.....	28
3.6 Análise de dados.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1 Teor de umidade inicial.....	30
4.2 Densidade básica.....	30
4.3 Curvas de secagem.....	31
4.4 Taxas de secagem .....	33
4.5 Estimativas de Temperaturas iniciais, Temperaturas finais e Potenciais de secagens.....	35
4.6 Rachaduras.....	36
4.7 Programas de secagem.....	36
5. CONCLUSÃO.....	40

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41
-------------------------------------	----

## 1. INTRODUÇÃO

Por apresentar características desejáveis ao setor madeireiro, existe atualmente uma ampla disponibilidade de espécies do gênero *Eucalyptus* no mercado, principalmente em idades de meia rotação, tornando indispensável o engajamento em pesquisas relacionadas à qualidade de madeiras jovens para seu maior aproveitamento.

Visando obter madeiras com características cada vez mais adequadas para utilizações diversas, Galvão e Jankowsky (1985) salientam que a secagem da madeira é capaz de trazer melhorias quanto à redução da sua massa e, conseqüentemente, a diminuição do custo do seu transporte. Os mesmos autores comentam que, independentemente deste fator econômico, a secagem, realizada antes da transformação da madeira bruta em produtos e bens de consumo, proporciona maior precisão de dimensões, melhora a atuação dos vernizes e tintas aplicadas, reduz os riscos do ataque de fungos manchadores e apodrecedores, proporcionam melhor qualidade das juntas de colagem e aumentam a resistência mecânica.

O processo de secagem para a industrialização da madeira é uma operação que precisa ser planejada e conduzida de modo eficiente, pois dela depende a qualidade do produto final. Algumas madeiras apresentam maior dificuldade no processo de secagem, a exemplo da madeira de *Eucalyptus*, devido à sua estrutura anatômica desfavorável ao fluxo de líquidos, que favorece o surgimento de defeitos (JANKOWSKY, 2011). Além disso, quando a madeira a ser submetida ao processo de secagem é proveniente de árvores jovens, é propensa a apresentar sérios defeitos, o que pode implicar no aumento dos custos (ANJOS et al. 2011).

São apresentados na literatura específica diferentes métodos de ensaios realizados para a indicação de programas de secagem para aquelas espécies menos conhecidas. Esses métodos baseiam-se na correlação do comportamento da madeira durante a secagem em estufa convencional com as propriedades físicas e mecânicas da madeira e com o comportamento de amostras submetidas a diferentes condições de secagem (JANKOWSKY, 2009). Colaborando com essa busca, a escolha do método para o programa de secagem adequado torna-se de grande importância (BARBOSA et al. 2005).

Galvão e Jankowsky (1985) explicam que os programas de secagem podem ser definidos como uma sequência pré-estabelecida, contendo alterações adequadas de teor de umidade relativa do ar e de temperatura, que deve ser aplicada a uma carga de madeira durante a secagem. Entretanto, não existem programas disponíveis para todas as madeiras e suas variações. Não raro, programas já publicados devem ser reavaliados, com base em novos conhecimentos e visões sobre a madeira e métodos de estudos.

Com o intuito de reduzir o tempo decorrente de um programa de secagem, Terazawa (1965) desenvolveu uma metodologia de secagem drástica em estufa de laboratório. De acordo com esse método, pequenas amostras quando submetidas à secagem a 100°C, tendem a apresentar comportamentos semelhantes aos que ocorreriam na secagem convencional. A eficácia dessa metodologia foi testada e comprovada por diversos autores, como CINIGLIO (1998), BARBOSA et al. (2005), JANKOWSKY (2009), KLITZKE e BATISTA (2010) SUSIN (2012), SOARES et al (2016), SÁNCHEZ (2017), ASSIS (2018), dentre outros.

Jankowsky (1997) explica que, de forma geral, o desenvolvimento de programas de secagem costuma ser lento, visto que as características de secagem que mais interferem sua elaboração são: tempo de secagem, taxa de secagem, rachaduras de topo e desenvolvimento de equações para a estimativa dos parâmetros de secagem, sendo eles temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem (relação entre o teor de umidade da madeira e a teor de umidade de equilíbrio).

Os programas de secagem disponíveis atualmente, baseados no ensaio de secagem drástica, nem sempre levam ao alcance da secagem da madeira com qualidade. É possível que uma nova abordagem sobre a proposta de Terazawa (1965) voltada especificamente para madeiras de *Eucalyptus*, com a aplicação de temperaturas inferiores a 100°C, resulte em programas mais adequados em termos de qualidade da madeira. Dessa forma, este trabalho teve por objetivo principal elaborar programas de secagem para madeiras de *Eucalyptus* de meia rotação e os objetivos específicos foram:

- Verificar taxas de secagem e defeitos em amostras de madeira submetidas a temperaturas de 100°C, 80°C e 60°C;
- Considerar área total da amostra para cálculos das taxas de secagem;
- Considerar interpolação de dados de umidade e massas da madeira para taxas de secagem.

## 2. REVISÃO LITERÁRIA

### 2.1 Setor de florestas plantadas

O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA, classifica o setor de florestas plantadas como um âmbito que apresenta benefícios sociais, econômicos e ambientais, tais como acréscimo da renda do produtor, geração de empregos e diminuição da pressão de desmatamento sobre florestas nativas (MAPA, 2011).

Referência mundial pela tecnologia florestal, considerando volume de madeira produzido por área ao ano, o setor brasileiro tem a maior produtividade e uma das rotações mais curtas. Em 2018, a produtividade média apresentada pelo Brasil foi de 36,0 m<sup>3</sup>/ha.ano para os plantios de *Eucalyptus*, enquanto a produtividade média dos plantios de pinus foi de 30,1 m<sup>3</sup>/ha.ano (IBÁ, 2019).

A área total de árvores plantadas no Brasil alcançou 7,83 milhões de hectares em 2018, estável em relação ao ano de 2017. O setor brasileiro de árvores plantadas é responsável por 6,2% do PIB oriundo das indústrias no País (IBÁ, 2019). As florestas plantadas são fonte de diversos produtos e subprodutos presentes em nossas vidas, exercem papel fundamental na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e proveem diversos serviços ambientais como o controle da erosão, a regulação dos ciclos hidrológicos, as boas condições do solo, a preservação da biodiversidade e a fornecimento de oxigênio para o planeta (IBÁ, 2017).

Um bom gerenciamento em uma floresta plantada, pode oferecer vários benefícios além de produção de madeira, mas existem limitações à cerca das plantações florestais relacionadas à incapacidade de substituição de formações florestais naturais, não sendo considerados alternativas, mas complementares às florestas nativas. As florestas plantadas causam mais impactos negativos no solo, como compactação e redução de nutrientes, não pela presença da floresta, mas pela operação de manejo florestal. Causam impacto na paisagem devido a sua uniformidade, ameaças a biodiversidade e um aumento na alocação de fundos para proteção de pragas e doenças (EVANS, 2009).

### 2.2 Gênero *Eucalyptus*

Existem monoculturas de eucalipto em vários países, sobretudo no Brasil, na África do Sul, Portugal, Argentina, Chile, EUA, Itália, Espanha, Moçambique, Malauí, Uganda, República do Congo e em alguns países asiáticos (IVERSEN et al. 2016). Os plantios de

*Eucalyptus* no Brasil, ocupam atualmente 5,7 milhões de hectares, enquanto as áreas com *Pinus* somam 1,6 milhão de hectares. Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (16%) são os principais estados em que os plantios de eucalipto estão localizados e nos últimos sete anos, o crescimento médio da área de eucalipto foi de 1,1% ao ano, com Mato Grosso do Sul liderando esta expansão, que sozinho apresentou uma taxa média de crescimento de 7,4% ao ano (IBÁ, 2019).

O gênero *Eucalyptus* tem sido a principal escolha entre as espécies para o estabelecimento de florestas plantadas em nosso País. Houve nos últimos 30 anos, em estados do centro-sul brasileiro, um amplo e bem-sucedido programa de reflorestamento, com esse gênero, com a pretensão de atender especialmente, às demandas por matéria-prima para a produção de chapa de fibra, polpa celulósica, lenha e carvão. A seleção das espécies inicialmente abrangeu programas de melhoramento e algumas práticas silviculturais e, numa segunda etapa, esses programas foram implementados com a procura por melhorias nas propriedades da madeira, tais como composição química, dimensões de fibras, densidade e teores de casca (MANEJO... 2002).

A silvicultura, o manejo do eucalipto e o melhoramento genético, favorecem ainda mais a utilização desse gênero para os mais diversos fins, possibilitando a manipulação de características desejáveis às condições do clima e do solo, além de ser versátil na propagação, possuindo incremento, forma e desrama natural (EMBRAPA, 2014).

Com a clonagem de espécies desse gênero, tornou-se claro o subsídio da evolução tecnológica para silvicultura nacional. Hoje extensas áreas são tomadas pelo plantio de clones com elevadas produtividades, qualidade da madeira e alta estabilidade fenotípica na produção (BRAGA, 2008).

As espécies, híbridos e clones de *Eucalyptus* apresentam distinções em relação à resposta aos estímulos ambientais de cada nicho ecológico. Para serem implantados em uma região hidrográfica com êxito, esses materiais necessitam da realização de testes para avaliação da sua capacidade de adaptação e produção (FERREIRA et al. 2017). Características desejáveis são unidas em um só indivíduo, aumentando assim a sua produção e resistência. De acordo com Milliet (2015) o maior investimento mundial das florestas plantadas tem foco em engenharia genética de *Eucalyptus* (foco em melhoramento e biotecnologia).

O plantio de *Eucalyptus* também traz uma série de desvantagens, pois, por se tratar de uma planta exótica, o eucalipto se sobressai em relação às plantas nativas, por não haver pragas naturais que as atrapalhem. As folhas contêm óleos essenciais que podem chegar aos córregos e rios e influir na vida aquática. Em alguns casos ocorre a falta de planejamento durante o

plântio, adentrando margens de rios e exige atenção especial na adubação, controle de pragas e rotação de culturas. (SCHNEIDER, 2003; ARAÚJO et al. 2010 e VECHI E JUNIOR, 2018).

### 2.3 Madeira de *Eucalyptus*

De acordo com várias pesquisas realizadas no Brasil, há evidências que as longas rotações seguidas no manejo de plantações de *Eucalyptus*, proporcionam maior diâmetro das toras das árvores, maior rendimento no desdobro da madeira e obtenção de produtos de maior qualidade e valor agregado (SILVA, 2003).

As florestas plantadas de rápido crescimento, usadas em reflorestamento, estão cada vez mais substituindo a utilização da madeira de espécies nativas e apresentam vantagens como menor idade de corte, alta produtividade, homogeneidade de matéria-prima, segurança de abastecimento, custo competitivo da madeira, além da possibilidade da variedade de usos da floresta e seus produtos (MANEJO... 2002).

Oliveira (2003) realizou estudo para descrever as características gerais da madeira do gênero *Eucalyptus* destacando-se o albúrnio como delgado, com menos de 3,0 cm de espessura e coloração clara. O cerne possui cor alterando do amarelado até tons pardos, pardo-avermelhados e vermelhos. Sua madeira apresenta grã direita à reversa de textura fina a média, levemente dura ao corte, possui pouco brilho e cheiro e gosto indistintos. Possui massa específica aparente variando de 0,40 a 1,20 g/cm<sup>3</sup>, aproximadamente. O mesmo autor destacou que a composição anatômica do gênero é muito homogênea, sendo assim de difícil separação das espécies. Alfonso (1987) caracterizou o lenho das principais espécies de *Eucalyptus* utilizadas no Brasil e também verificou pouca variação entre amostras de uma mesma espécie e afirmou que as condições climáticas podem modificar a estrutura anatômica da madeira.

### 2.4 Secagem em estufa convencional

A quantidade de água presente na madeira interfere diretamente em suas propriedades afetando sua utilização e qualidade. Portanto, a secagem é etapa essencial durante o processamento da madeira serrada. A secagem convencional permite o controle da perda de teor de umidade, minimizando a manifestação de defeitos e proporcionando material de maior valor agregado. A secagem em estufa convencional é um dos métodos mais utilizados pelas indústrias e é realizada seguindo as etapas de acordo com o programa de secagem, visando a redução de tempo e custo (ASSIS, 2018).

A dificuldade de conduzir a secagem da madeira e a falta de informação sobre a espécie a ser processada, aumenta o nível de perda do material. Desse modo, a secagem convencional é uma opção para controlar a teor de umidade, pois quando realizada em estufas apresenta vantagens como o controle de defeitos, controle do teor de umidade final, tempo de secagem, além da adequação a diversos tipos de madeira, apesar de maior custo em relação à secagem ao ar livre (SÁNCHEZ, 2017).

Sussin (2012) explica que o processo de secagem convencional é influenciado pela densidade da madeira, estrutura anatômica, teor de umidade, espessura e fatores inerentes do ambiente em que a madeira está acondicionada, como a temperatura da câmara de secagem, teor de umidade relativa do ar, velocidade do ar, além de presença de lenho juvenil e adulto.

Soares et al. (2019) relatam que os surgimentos de defeitos durante a secagem podem ser resultado da presença em maior ou menor magnitude de madeira juvenil e que a concepção da diferença de comportamento entre madeira juvenil e adulta é importante para a indústria em termos de otimização da secagem. O conhecimento dessas diferenças, possibilitaria a classificação de tábuas tornando possível, a secagem vantajosa em cargas separadas.

## **2.5 Programas de secagem de madeira**

O processo de secagem da madeira consiste na diminuição do teor de umidade com o intuito de atingir um teor de umidade pré-determinado, com o mínimo de defeitos, no menor tempo praticável e de forma viável economicamente para seu destino final (MARTINS, 1988). Segundo Assis (2018), devido à complexidade estrutural da madeira, o fluxo de água torna-se de importante conhecimento, para a obtenção do produto final de qualidade, pois a madeira pode apresentar comportamentos de diferentes magnitudes até atingir a teor de umidade desejada.

De acordo com Klitzke (2007) o conhecimento das propriedades tecnológicas da madeira que será submetida a secagem é de grande importância quando se deseja desenvolver programas de secagem. Para aprimorar a secagem da madeira, em termos temporais e diminuir a ocorrência de defeitos nessa etapa, são elaborados programa de secagem (tabela 1), os quais consistem em um plano para se empregar a combinação adequada de temperatura e teor de umidade relativa à carga de madeira na estufa, objetivando a redução do teor de umidade até um teor pré-determinado, com o mínimo de defeitos (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985; MARTINS, 1988).

Tabela 1 - Programa de secagem da madeira

Étapas de secagem	Temperatura de bulbo seco (°C)	Temperatura de bulbo úmido (°C)	Umidade Relativa (%)	umidade de equilíbrio (%)	Tempo (h)	Potencial de secagem
Aquecimento	40	39	94	*	3	*
45	40	38	88	18	*	2,5
35	44	41	84	16	*	2,2
31	46	42	78	14	*	2,2
28	50	45	77	14	*	2,0
25	54	48	71	12	*	2,1
20	58	49	64	10	*	2,0
17	60	49	55	8	*	2,1
15	62	49	48	7	*	2,1
12	66	51	46	6	*	2,0
10	66	47	35	5	*	2,0
Uniformização - 10	64	56	66	10	8	*
Acondicionamento - 10	62	56	73	12	8	*
Resfriamento - 10	44	35	55	9	4	*

Fonte: Batista et al. (2015).

A utilização e desenvolvimento de programas de secagem de madeira adequado é o mais importante passo para garantir a qualidade da madeira (BARBOSA, 2005). A partir da análise do comportamento das amostras durante todo o ensaio de secagem em laboratório, é possível prever como a madeira irá se comportar durante a secagem em estufa convencional, e levando esses comportamentos a equações, é possível proporcionar madeira seca com maior qualidade.

Um programa de secagem é uma aliança entre a necessidade de secar a madeira rapidamente e evitar condições de secagem severas que venham causar defeitos de secagem. São aplicados nos diversos estágios do processo de secagem, unindo uma série de temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido que estabelecem a temperatura e teor de umidade relativa do ar dentro da estufa (SIMPSON, 1991). Dessa forma, de acordo com Assis (2018), deve-se obter conhecimentos sobre o comportamento da madeira de cada espécie em questão de acordo com os recursos disponíveis, visando qualidade ao final da secagem, de forma viável, onde são desenvolvidos programas de acordo com as características de cada madeira em relação às variáveis do processo.

O método da secagem drástica foi desenvolvido por Terazawa (1965), que baseou-se no teoria de que pequenas amostras de madeira, de diversas espécies, quando submetidos a temperatura de 100°C em estufa de laboratório, tendem a apresentar comportamentos semelhantes ao que ocorreria na secagem em estufa convencional. Essa metodologia foi aprimorada por alguns autores como Brandão (1989), Simpson (1991) e Ciniglio (1998) e assim

estabelece-se equações que estimam a temperatura inicial, a temperatura final e o potencial de secagem para espécies que não possuem programas de secagem conhecido.

Barbosa et al. (2005), utilizando essa metodologia em madeira de 10 clones de *Eucalyptus*, encontraram uma média de Temperatura inicial de 42,98°C, de Temperatura Final de 66,80°C e Potencial de secagem de 2,20. Soares et al. (2016) encontraram, para madeira de *Eucalyptus saligna*, Temperaturas iniciais de 45,81°C e 39,34°C, Temperaturas finais de 69,86°C e 67,70°C e Potenciais de secagens de 2,37 e 2,09 para lenho juvenil e adulto, respectivamente.

Durante a execução do programa de secagem em estufa convencional, a partir das variáveis estimadas com o ensaio da secagem drástica, podem ser reconhecidas três fases distintas descritas por Galvão e Jankowsky (1985):

- a) “ Aquecimento - A madeira é aquecida sem que se inicie o processo de secagem propriamente dita. Inicialmente, o ar contido no interior da estufa é aquecido até alcançar a temperatura de bulbo seco almejada e a queda no teor de umidade relativa é reparada com intensa umidificação. Logo após, sobrevém o equilíbrio térmico entre a madeira e o ar, como nessa fase é indesejável que a madeira inicie o processo de secagem propriamente dito, emprega-se teor de umidades relativas elevadas.”
- b) “ Secagem – É nessa fase que ocorre a remoção de água da madeira. De início, realiza-se a remoção da água capilar, onde devem ser empregadas baixas temperaturas e altas teor de umidades relativas, para precaver a ocorrência de colapso e rachaduras. A teor de umidade relativa inicial irá depender da espécie em secagem. A temperatura inicial deve ser conservada até que a água capilar da madeira seja totalmente retirada. Os valores máximos dependem da espessura da madeira e da espécie: para espessuras maiores utilizam-se temperaturas mais baixas. A retirada da água higroscópica evidencia-se pelo aumento da temperatura com a diminuição simultânea do teor de umidade relativa. O período de tempo a ser expedido com a remoção da água higroscópica irá variar com a massa específica das espécies, temperatura utilizada, espessura das peças e gradiente de teor de umidade”.
- c) “ Uniformização e acondicionamento - São fases necessárias com objetivo de homogeneizar ao máximo possível a teor de umidade em todas as peças da pilha e excluir suas tensões internas, diante do reumidecimento das camadas superficiais.

## 2.6 Defeitos de secagem

Os defeitos que surgem na madeira, como colapsos, empenamentos, encanoamentos, encurvamentos, rachaduras, endurecimentos superficiais, dentre outros, podem estar relacionados também ao seu processo de formação e ao desdobro, além da própria secagem, gerando grandes perdas de material. Assim, é necessária a adoção de práticas silviculturais adequadas, técnicas de desdobro e cuidados no processo de secagem, para obter madeira serrada de qualidade (ASSIS, 2018).

O surgimento de colapso é mais evidente do início do processo de secagem até que a madeira atinja 30% de teor de umidade. A forma mais eficiente de prevenir o surgimento desses defeitos é com a elaboração de programas de secagem, visando-se temperaturas suaves e principalmente potencial de secagem reduzido.

O colapso é avaliado, bem como as tensões de crescimento, um dos principais defeitos da madeira, levando a uma superfície irregular, ou ainda, com empenamentos e fendilhamentos, em todas as extremidades da amostra. O colapso é causado por diferenças de permeabilidade na madeira, onde faixas com maior ou menor teor de teor de umidade perdem água dos lúmens das células, sofrendo queda de pressão interna, devido à capilaridade, quando é superior a resistência das paredes celulares (SILVA, 2003).

A madeira de *Eucalyptus*, devido à sua estrutura anatômica desfavorável ao fluxo de líquidos, é mais propensa ao surgimento de defeitos de secagem, como rachaduras, empenamento, dentre outros (BARBOSA, et al. 2005). Monteiro (2014) afirma que a densidade básica e as características anatômicas estão relacionadas ao fluxo da água livre e da água adsorvida na madeira.

Siau (1997) relata que quanto maior a densidade, menor será a porosidade na madeira e, conseqüentemente, menor será a movimentação de água na madeira e Galvão e Jankowsky (1985) relatam que a característica de maior densidade básica da madeira é inversamente proporcional à sua taxa de secagem. A taxa de secagem da madeira foi analisada por diversos pesquisadores, como Barbosa et al. (2005), que estudando madeiras de 10 clones de *Eucalyptus*, obteve valores médios de 0,0187 g.cm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>, 0,0337 g.cm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> e 0,0082 g.cm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>, para taxa de secagem até 5% de teor de umidade, para taxa de secagem até 30% de teor de umidade e para taxa de secagem de 30 até 5% de teor de umidade, respectivamente. Klitzke e Batista (2010), para madeira de *Eucalyptus grandis*, encontraram médias de 0,0198 g.cm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>, 0,0313 g.cm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> e 0,0116 g.cm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>, para taxa de secagem até 5% de teor de umidade, para taxa de secagem

até 30% de teor de umidade e para taxa de secagem de 30 até 5% de teor de umidade, respectivamente.

Soares et al. (2016), estudando lenhos de *Eucalyptus saligna*, encontrou médias de 0,0270 g.cm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> e 0,0161 g.cm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>, para taxa de secagem até 5% de teor de umidade, 0,0538 g.cm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> e 0,0518 g.cm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>, para taxa de secagem até 30% de teor de umidade e 0,0144 g.cm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> e 0,0089, para taxa de secagem de 30 até 5% de teor de umidade, para lenho juvenil e adulta, respectivamente.

Campbell e Hartley (1988) explicam que praticamente todos os defeitos que podem surgir durante a secagem, podem ser observados na madeira de *Eucalyptus*. Se esta madeira for proveniente de plantios de rápido crescimento, tensões de crescimento podem acentuar ainda mais a incidência de defeitos (JANKOWSKY et al. 2003).

Quanto maior a diferença de retratibilidade entre os planos tangencial e radial, ou seja, o maior fator anisotrópico, maiores serão os defeitos decorrentes da secagem de uma madeira. As tensões surgidas durante a secagem são mais evidentes em madeiras oriundas de curta rotação florestal, rápido crescimento e pequenas dimensões (SILVA, 2003).

## 2.7 Área superficial das amostras para secagem drástica

A grande maioria dos trabalhos com secagem drástica de madeira, são realizados com amostras nas dimensões de 100 x 50 x 10 mm, como relatado por Ciniglio (1998), Andrade (2000), Santos (2002), Barbosa et al. (2005), Soares et al. (2016), porém alguns pesquisadores utilizam amostras de dimensões variadas, como Brandão (1989) que utilizou 25 amostras/espécies com dimensões de 20 x 100 x 200 mm, Mendes (1989) citado por Loiola (2015) utilizou amostras com comprimentos de 25 a 38 mm, sem as demais dimensões mencionadas, Klitzke e Batista (2010) que empregaram 10 amostras de madeira com dimensões de 30 x 150 x 250 mm, em ensaio de taxas de secagem a 100°C.

Nos cálculos para verificação das taxas de secagem propostas por Ciniglio (1998) a área superficial das amostras é considerada como 100 cm<sup>2</sup>, bem como relatado em diversos outros trabalhos com amostras nas mesmas dimensões. Porém sabe-se que de acordo com a fórmula específica, a área superficial de amostras com dimensões de 100 x 50 x 10 mm não é de 100 cm<sup>2</sup>, mas de 130 cm<sup>2</sup>. Diante disso é importante que se faça estudos comparativos entre esses valores para verificação se há ou não alterações nos valores de Temperatura inicial, Temperatura final e Potencial de secagem.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização do local e do experimento, seleção e amostragem dos clones

O material foi coletado em Luminárias, cidade localizada no estado de Minas Gerais, com latitude de 21° 30' 34,6" S, longitude de 44° 54' 15,4" W e altitude de 1.141 m (DB CITY, 2019). Possui clima subtropical úmido e área territorial de 500,114 km<sup>2</sup> (IBGE, 2017), população estimada em 5,454 pessoas e PIB per capita de R\$ 13.407,53 (IBGE, 2018).

Foram utilizados o clone GG100 - *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* e o clone 58 - *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis*, com idades de meia rotação (10 e 11 anos, respectivamente). O experimento realizou-se em ensaio instalado com delineamento de 4 blocos ao acaso com 1 árvore/clone/repetição. De cada clone foi selecionada 1 árvore por bloco, totalizando 4 árvores do clone GG100 e 4 árvores de clone 58, constituindo um total de 8 árvores. A seleção das árvores foi feita por classe diamétrica, escolhendo-se a mais representativa e com bom perfil fenotípico: fuste reto, sem bifurcações, para evitar a presença excessiva de lenho de tração, além de boas condições fitossanitárias. Foram mensurados os parâmetros dendrométricos, como altura total, comercial e diâmetro a altura do peito.

#### 3.2 Coleta do material de estudo

As árvores selecionadas foram cortadas (figura 1 e 2), desramadas e retirados 3 toras do lenho, de 1,30 m de comprimento, sendo elas da base, do meio da árvore e topo da altura comercial. Para cada tora da base, foram confeccionadas 2 tábuas; Para cada tora do meio, foram confeccionadas 2 tábuas; Para cada tora do topo, confeccionou-se 1 tábua. Após serradas e aplainadas, foram retiradas de cada tábua 6 corpos de prova, totalizando 240 amostras, com as dimensões da figura 3.

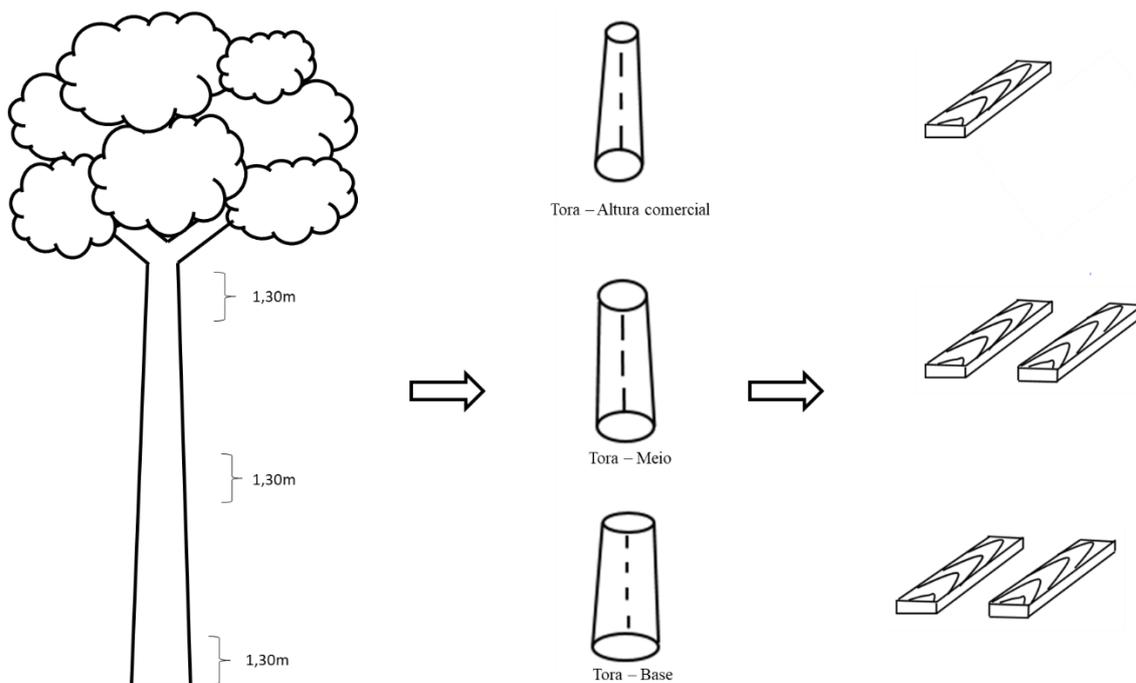
Figura 1 - Algumas toras das árvores selecionadas



Fonte: Da autora (2020).

As toras foram identificadas com códigos numérico (clone, repetição e porcentagem da altura), suas extremidades foram vedadas com sacos plásticos (figura 1) para reduzir a saída de água livre e posteriormente foram transportadas para processamento e análises em laboratório.

Figura 2 - Esquema de retirada de amostras do material de estudo



Fonte: Da autora (2020).

### 3.3 Determinação do teor de umidade e densidade básica

Das 6 amostras de cada tábua, 3 corpos de prova foram destinados à secagem em estufa elétrica a 100°C, 80°C e 60°C, todas a  $\pm 2$  °C (A) e 3 corpos de prova foram destinados para determinação do teor de teor de umidade e da densidade básica (B), de acordo com o esquema apresentado na Figura 3. O teor de umidade foi determinado de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997) e a densidade básica de acordo com a NBR 11941-02 (ABNT, 2003).

Figura 3 - Esquema de retirada dos corpos de prova de uma tábua.



A - Corpo de prova para secagem (100 x 50 x 10 mm);

B - Corpo de prova para determinação da densidade básica e teor de umidade (50 x 50 x 10 mm).

Fonte: Da autora (2020).

### 3.4 Elaboração de Programas de secagem da madeira

A elaboração do programa de secagem foi baseada na metodologia proposta por Terazawa (1965). A hipótese fundamental do autor é que pequenas amostras de madeira, quando submetidas a secagem drástica, apresentam comportamentos similares aos que ocorrerão na secagem em estufa convencional, possibilitando selecionar programas de secagem de forma confiável e rápida.

No ensaio para a determinação do programa, as amostras foram submetidas à secagem em estufa de laboratório, com circulação forçada de ar (nas temperaturas citadas no item 4.3), até atingirem 0% de teor de umidade ou massa constante. Durante a secagem, as amostras foram periodicamente analisadas quanto às suas massas e incidências de rachaduras de topo.

Os valores de perda de água foram empregados nos cálculos de taxas de secagem, propostos por Brandão (1989), de acordo com as equações 1, 2 e 3, também foram atualizadas o valor da área superficial das amostras de 100 cm<sup>2</sup> para 130 cm<sup>2</sup> para comparação dos resultados. A partir desses valores foram feitos os cálculos das variáveis do ensaio em estufa a 100°C, 80°C e 60°C. O ensaio a 100°C, secagem drástica, foi necessário para os cálculos dos parâmetros do programa de secagem, de acordo com as equações 4, 5 e 6, seguindo a metodologia proposta por Brandão (1989) e aprimorada por Ciniglio (1998) com as devidas modificações. Os ensaios a 80 e 60°C foram realizados para verificação se as reduções das temperaturas nos ensaios de laboratório, levam a programas de secagem mais suaves.

**Equação 1:** Taxa de secagem até 5% de teor de umidade

$$T_{x1} = \frac{m_u - m_5}{T_1 * 130}$$

Em que:

$T_{x1}$  = Taxa de secagem do teor de umidade inicial até 5% ( $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ );

$m_u$  = massa da amostra à teor de umidade inicial (g);

$m_5$  = massa da amostra a 5% de teor de umidade (g);

$T_1$  = tempo de secagem do teor de umidade inicial até 5% (h);

130 = área superficial da amostra ( $\text{cm}^2$ ).

**Equação 2:** Taxa de secagem até 30% de teor de umidade

$$T_{x2} = \frac{m_u - m_{30}}{T_2 * 130}$$

Em que:

$T_{x2}$  = Taxa de secagem do teor de umidade inicial até 30% ( $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ );

$m_{30}$  = massa da amostra a 30% de teor de umidade (g);

$T_2$  = tempo de secagem do teor de umidade inicial até 30% (h)

**Equação 3:** Taxa de secagem de 30 a 5% de teor de umidade

$$T_{x3} = \frac{m_{30} - m_5}{T_3 * 130}$$

Em que:

$T_{x3}$  = Taxa de secagem de 30% a 5% de teor de umidade ( $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ );

$m_5$  = massa da amostra a 5% de teor de umidade (g);

$T_3$  = tempo de secagem de 30% a 5% de teor de umidade (h);

Para determinação dos parâmetros do programa de secagem foram usadas as seguintes equações propostas por Ciniglio (1998):

**Equação 4:** Temperatura inicial:

$$T_I = 27,9049 + 0,7881 T_2 + 419,0254 T_{x1} + 1,9483 R_2$$

**Equação 5:** Temperatura Final:

$$T_F = 49,2292 + 1,1834 T_2 + 273,8685 T_{x2} + 1,0754 R_1$$

**Equação 6:** Potencial de secagem:

$$P_S = 1,4586 - 30,4418 T_{x2} + 42,9653 T_{x1} + 0,1424 R_3$$

Em que:

$T_{x1}$  = Taxa de secagem até 5%

$T_{x2}$  = Taxa de secagem até 30%

$R_1$  = rachadura de topo do teor de umidade inicial até 5%

$R_2$  = rachadura de topo do teor de umidade inicial até 30%

$R_3$  = rachadura de topo de 30% até 5%

$T_2$  = Tempo de secagem do teor de umidade inicial até 30% (h)

$T_I$  = Temperatura inicial (°C);

$T_F$  = Temperatura final (°C);

$P_S$  = Potencial de secagem

As rachaduras de topo e superfície foram medidas com auxílio de paquímetro digital com precisão de 0,01 mm (comprimento), considerando sempre a maior magnitude de ocorrência do defeito. A magnitude das rachaduras foi transformada em escore, conforme classificação da Tabela 2. A classificação dos scores para rachaduras de topo usada nesse trabalho foi adaptada do proposto por Ciniglio (1998).

Tabela 2 - Escore que representa as rachaduras de topo adaptadas de Ciniglio (1998)

ESCORE	RACHADURA DE TOPO
1	Ausente
2	CR < 5,0 e LR < 0,5
3	CR > 5,0 e LR < 0,5
4	CR < 5,0 e 0,5 < LR < 1,0
5	CR > 5,0 e 0,5 < LR < 1,0
6	CR > 5,0 e LR > 1,0

Onde:

CR = Comprimento de rachadura (mm)

LR: = Largura da rachadura (mm)

### 3.5 Atualização da área das amostras para secagem drástica

Foram realizadas comparações entre valores de área superficial das amostras para ensaios de programas de secagem, onde a área superficial proposta por Ciniglio (1998) é de 100 cm<sup>2</sup> para amostras com dimensões de 100 x 50 x 10 mm. A área superficial a qual foi realizada comparação nesse trabalho foi de 130 cm<sup>2</sup> para as mesmas dimensões propostas por Ciniglio (1998), baseando-se na fórmula para área superficial citada na equação 7:

**Equação 7:** Área superficial da amostra:

$$A_s = 2(ab + ac + bc)$$

Onde:

As = Área superficial

a = Base da amostra (cm)

b = Altura da amostra (cm)

c = Largura da amostra (cm)

Foram realizadas, com auxílio do software *R studio*, a interpolação dos dados de teor de umidade das amostras obtidos do início ao fim de cada um dos ensaios, para obter-se os tempos

exatos em que cada amostra atingiu 30% e 5% de teor de umidade. Para obtenção das massas das amostras com 30% e 5% de teor de umidade, isolou-se a massa úmida, a partir do cálculo do teor de umidade. Para todos os cálculos que foram feitos com essas modificações, foram denominados nos resultados como “Padrão” e sem as modificações propostas nesse trabalho, foram denominados como “atualizadas”.

### 3.6 Análise dos dados

O experimento realizou-se em ensaio instalado com delineamento de 4 blocos ao acaso, representados por uma árvore/clone/repetição. A análise estatística foi efetuada utilizando-se estatística descritiva, análise de variância e, para representação da curva de secagem, foram feitos gráficos. As variáveis referentes às modificações dos valores das áreas das amostras e qualidade de secagem a diferentes temperaturas foram comparadas a partir do teste não paramétrico de Mann-Whitney. Os testes não-paramétricos são direcionados a dados discretos, não normais, como escores e contagens de maneira geral (KLITZKE E BATISTA, 2010). Todos os dados foram processados e analisados o software “*R studio*”.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Teor de umidade inicial

Na tabela 3 encontram-se os resultados do teor de teor de umidade da madeira dos dois clones:

Tabela 3 - Médias de teor de teor de umidade da madeira por clone.

Clone de híbrido	N	Teor de umidade (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	CV (%)
Clone 58	60	128,7	195,4	95,99	20,45
Clone GG100	60	150,4	211,81	100,33	16,26

N = número de amostras analisadas; CV (%) = Coeficiente de variação em porcentagem

Fonte: A autora (2020).

Observou-se que, para o clone GG100, há maior média de teor de umidade inicial. De acordo com Skaar (1972), o teor de umidade inicial refere-se à quantidade água presente na árvore no momento que a mesma foi abatida. Esta quantidade de água pode variar de acordo com vários fatores como de espécie para espécie, variações dentro de uma mesma espécie (amostras ao longo do fuste), proporção cerne-alburno, qualidade de sítio, estação do ano, dentre outros fatores. Nesse trabalho a variação do teor de umidade inicial pode ser explicado pelo cruzamento que compõe os híbridos, pois de acordo diversos autores como (melhor abordado no item 5.2 e 5.3), o *E. grandis* possui menor densidade em comparação ao *E. camaldulensis*, que compõe o híbrido 58.

### 4.2 Densidade básica

Na tabela 4 encontram-se os resultados de densidade básica da madeira dos dois clones:

Tabela 4 - Médias de densidade básica da madeira por clone.

Clone de híbrido	N	Densidade (g.cm <sup>-3</sup> )	Máximo (%)	Mínimo (%)	CV (%)
Clone 58	60	0,52	0,61	0,37	12,13
Clone GG100	60	0,47	0,60	0,36	11,32

N = número de amostras analisadas; CV (%) = Coeficiente de variação em porcentagem

Fonte: A autora (2020).

Pode-se observar que os valores de teor de umidade inicial para cada clone são inversamente proporcionais aos valores de densidade básica, dispostos na tabela 4. Esta evidência é considerada normal, pois madeiras com menores porosidades possuem menores capacidades de absorção e adsorção de água, logo são madeiras mais densas. Os comportamentos das duas espécies estudadas nesse trabalho obedeceram ao proposto por Tsoumis (1991), o qual afirma que madeiras de maior densidade básica tendem a possuir menor teor de umidade inicial. Soares et al. (2016) explica que a máxima capacidade da madeira em reter água é diretamente relacionada à sua densidade, pois no cálculo da densidade básica considera-se os espaços inter e intracelulares da estrutura da madeira, sendo que quanto menor for a proporção entre esses espaços, menor será a capacidade de retenção de água e maior será a densidade básica. Kollmann et al. (1968) apresentam a equação 8 para determinar o Máximo Teor de Umidade em função da densidade básica da madeira.

#### **Equação 8:**

$$M_{TU\%} = (1,5 - D_B / 1,5 * D_B) * 100$$

Onde:

$M_{TU\%}$  = Máximo Teor de Umidade

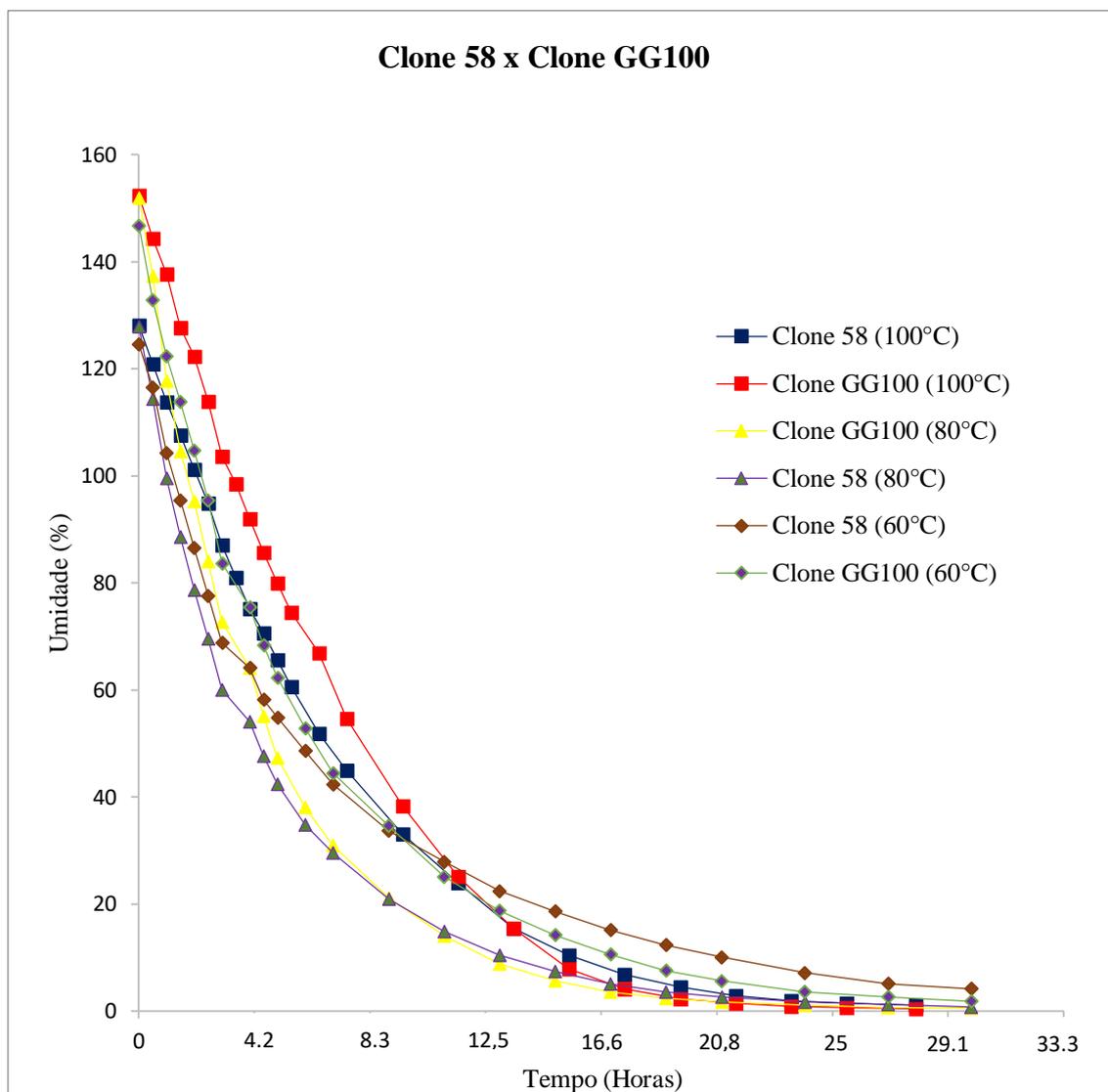
$D_B$  = Densidade Básica

Observa-se na tabela 4 que o valor médio de densidade encontrado nesse trabalho para o clone GG100 foi semelhante aos valores verificados por Meneses et al. (2015), Mauri et al. (2014) e Alzate (2004). Para o clone 58, o resultado foi superior aos verificados por Bison et al. (2009), isso pode se acarretar pela diferença entre idades em ambos os casos, como foi confirmado em trabalho realizado por Lima et al. (2001).

### **4.3 Curvas de secagem**

Na figura 4 encontra-se a curva de secagem da madeira dos clones 58 e GG100, demonstrando a relação de perda de teor de umidade de acordo com o tempo, para os ensaios a 100°C, 80°C e 60°C.

Figura 4 – Curva de secagem em ensaio a 100°C, 80°C e 60°C, em estufa de laboratório, para amostras de madeiras dos clones 58 e GG100, aos 11 e 10 anos de idade.



Fonte: A autora (2020).

Na figura 4 podemos observar que o tempo de secagem das amostras até atingir 5% de teor de umidade, no ensaio a 100°C, foi maior para o clone 58 do que para o clone GG100 (aproximadamente 19,5 horas e 17,5 horas, respectivamente). Para o ensaio na temperatura de 80°C, o clone 58 levou mais tempo de secagem que o clone GG100 (aproximadamente 17,5 horas e 15 horas, respectivamente) e no ensaio com temperatura de 60°C, o clone 58 seguiu tendo secagem mais lenta (aproximadamente 27 horas e 21 horas, respectivamente) do que o clone GG100.

A figura 4 mostra que há uma tendência exponencial nas curvas de secagem para a madeira de ambos os clones, semelhante aos resultados encontrados para trabalhos com

secagem drástica (100°C) realizados por Simpson (1991), Barbosa et al. (2005), Soares et al. (2016), Soares et al. (2019) dentre outros. Foi possível observar que a secagem de amostras para definição de programas de secagem pode ser realizada com temperaturas diferentes de 100°C. Nesse trabalho foram testadas temperaturas inferiores.

#### 4.4 Taxas de secagem

Na tabela 5 encontra-se os resultados das médias de Taxa de secagem até 5%, 30%, e de 30 a 5% de teor de umidade, comparando-se os valores dos cálculos atualizados (Os que levam em consideração a variação no valor da área superficial das amostras, a interpolação dos valores de teores de teor de umidades e massas) e os valores dos cálculos padrões, em ensaio a 100°C, 80°C e 60°C, para os clones 58 e GG100, respectivamente:

Tabela 5 - Médias de taxas de secagem com valores a partir de cálculos atualizados e cálculos padrões, para madeiras dos clones 58 e GG100 em ensaio a 100°C, 80°C e 60°C.

Clone de híbrido	Cálculos	T <sub>x1</sub>	Médias	T <sub>x2</sub>	Médias	T <sub>x3</sub>	Médias
Ensaio a 100°C							
58	Padrão*	0,0157	0,0164	0,0244	0,02445	0,0057	0,00505
GG100	Padrão	0,0170		0,0245		0,0044	
58	Atualizado*	0,0110	0,01205*	0,0207	0,02085*	0,0039	0,00425*
GG100	Atualizado	0,0131		0,0210		0,0046	
Ensaio a 80°C							
58	Padrão	0,0176	0,0176	0,032	0,0337	0,0047	0,00435
GG100	Padrão	0,0175		0,0354		0,004	
58	Atualizado	0,0128	0,0138*	0,0324	0,0336*	0,0039	0,00395*
GG100	Atualizado	0,0148		0,0348		0,004	
Ensaio a 60°C							
58	Padrão	0,0109	0,0114	0,0214	0,0225	0,0029	0,0027
GG100	Padrão	0,0119		0,0236		0,0025	
58	Atualizado	0,0075	0,0091*	0,0218	0,0241*	0,0022	0,0025*
GG100	Atualizado	0,0107		0,0264		0,0028	

T<sub>x1</sub> = Taxa de secagem até 5% de teor de umidade, em (g.cm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>); T<sub>x2</sub> = Taxa de secagem até 30% de teor de umidade, em (g.cm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>); T<sub>x3</sub> = Taxa de secagem de 30 até 5% de teor de umidade, em (g.cm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>); \* = Significativo a 5%. Teste não paramétrico Mann – Whitney. Padrão = Refere-se ao método de realização dos cálculos, de acordo com o mais utilizado na literatura. Atualizada = Refere-se a realização dos cálculos com atualização da área superficial das amostras de ensaio de secagem drástica, de 100cm<sup>2</sup> para 130cm<sup>2</sup>, além da interpolação de dados para definição das massas das amostras e teor de umidades a 5%, 30%, e de 5% de 30%.

Fonte: A autora (2020).

Observou-se que para o ensaio de secagem a 100°C, houve diferença significativa em relação aos cálculos definidos como “atualizado” e os cálculos definidos como “padrão”, entre a Taxa de secagem até 5% de teor de umidade, Taxa de secagem até 30% de teor de umidade e Taxa de secagem de 30 a 5% de teor de umidade. No ensaio de secagem a 80°C e 60°C também houve diferença significativa em relação aos cálculos atualizados e os cálculos padrões, em todas as taxas de secagem. As taxas de secagem ficaram mais suaves em média 26,87% no ensaio de secagem a 100°C, 21,34% no ensaio de secagem a 80°C e 22,80% no ensaio de secagem a 60% com a utilização dos cálculos atualizados em comparação aos cálculos padrão.

Para os testes realizados nesse trabalho, a correção no valor da área superficial das amostras, interpolação de teor de umidades e massas, mostrou diferenças significativas para todas as taxas de secagem, com a diminuição dos valores em quase todas as comparações, de acordo com a tabela 5.

Os valores médios para taxas de secagem, em ensaio a 100°C, das duas espécies estudadas neste trabalho, foram inferiores aos observados por Barbosa et al. (2005), Klitzke e Batista (2010) e Soares (2016), podendo isso ocorrer por diversos fatores, tais como: o clone utilizado, a idade em que foi coletada, a proporção de lenho inicial e tardio, a densidade, a metodologia de cálculo dos parâmetros para taxas de secagem ou a diferença nos valores de área superficial das amostras.

No ensaio a 80°C realizado nesse trabalho, as médias dos valores de  $T_{X1}$  e  $T_{X2}$  foram superiores aos do ensaio a 100°C, já a média de  $T_{X3}$  foi inferior ao ensaio de 100°C. Não foram encontrados na literatura ensaios para o desenvolvimento de programas de secagem com temperaturas diferentes de 100°C (o que caracteriza a secagem drástica), ao mesmo tempo em que se utilizasse corpos de prova nas mesmas dimensões usadas nesse trabalho.

No ensaio a 60°C, a média de  $T_{X1}$  foi inferior aos valores encontrados nos ensaios a 100°C e a 80°C, o valor de  $T_{X2}$  foi superior ao encontrado no ensaio a 100°C e inferior ao valor encontrado no ensaio a 80°C. O valor de  $T_{X3}$  foi inferior aos valores encontrados nos ensaios a 100°C e 80°C. Os resultados para taxas de secagens foram diferentes do esperado, pois a diminuição da temperatura não foi diretamente proporcional à redução das taxas de secagem. Isso pode ter ocorrido por fatores como presença em maior ou menor proporção de lenho de reação em algumas amostras, possível presença interna de nós ou problemas em equipamentos de secagem.

#### 4.5 Estimativas de Temperaturas iniciais, Temperaturas finais e Potenciais de secagens

Na tabela 6 encontram-se os resultados de Temperatura inicial, Temperatura final e Potencial de secagem, estimados pelas equações 4, 5 e 6, comparando-se os cálculos atualizados e os cálculos padrões, em ensaio a 100°C, 80°C e 60°C, para os clones 58 e GG100, respectivamente.

Tabela 6 - Médias para Temperatura inicial, Temperatura final e Potencial de secagem, para o clone 58, em ensaio a 100°C, 80°C e 60°C.

Clone 58				Clone GG100			
Ensaio a 100°C				Ensaio a 100°C			
Cálculos	Ti (°C)	Tf (°C)	Ps	Cálculos	Ti (°C)	Tf (°C)	Ps
Padrão	45,6	70,8	1,5	Padrão	47,6	73,0	1,6
Atualizado	42,3*	67,7*	1,5 ns	Atualizado	45,9*	72,0*	1,6ns
Ensaio a 80°C				Ensaio a 80°C			
Padrão	49,9	70,0	1,4	Padrão	44,5	70,7	1,3
Atualizado	40,7*	66,9*	1,2*	Atualizado	41,4*	67,7*	1,2*
Ensaio a 60°C				Ensaio a 60°C			
Padrão	46,0	71,9	1,5	Padrão	45,5	72,8	1,4
Atualizado	41,5*	67,3*	1,3*	Atualizado	41,0*	67,6*	1,3*

Ti = Temperatura inicial; Tf = Temperatura Final; Ps = Potencial de Secagem; ns = Não significativo a 5%; \* = Significativo a 5%. Teste não paramétrico de Mann – Whitney.

Fonte: A autora (2020).

Observa-se que para o ensaio de secagem a 100°C, houve diferença significativa em relação ao cálculo utilizado para as estimativas da temperatura inicial e temperatura final, porém, para o potencial de secagem não houve diferença significativa. No ensaio a 80°C e 60°C houve diferença significativa entre os cálculos atualizados e os cálculos padrões, para a temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem.

Comparando aos valores encontrados neste trabalho, para todos os ensaios, aos valores observados na literatura, pode-se observar que não há discrepância para os valores médios de Ti e Tf, porém, o valor médio de potencial de secagem foi inferior. Isto pode ser uma desvantagem no que diz respeito ao tempo de secagem, mas é uma vantagem no que diz respeito a qualidade de secagem, pois quando mais suave for o potencial de secagem, haverá menor intensidade de secagem sobre a pilha de madeira, reduzindo-se a incidência de defeitos.

#### 4.6 Rachaduras

Os valores da evolução das rachaduras para cada clone, durante os três ensaios apresenta-se na tabela 7:

Tabela 7 - Médias para as rachaduras nas madeiras do clone 58 e GG100, para os ensaios a 100°C, 80°C e 60°C.

Clone	Ensaio a 100°C			Ensaio a 80°C			Ensaio a 60°C		
	R1 uni	R2 uni	R3 uni	R1 uni	R2 uni	R3 uni	R1 uni	R2 uni	R3 uni
58	1,15	1,05	1,1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,7	1,3
GG100	1	1	1	1,05	1,1	1,05	1	1	1

R<sub>1</sub> = rachadura de topo do teor de umidade inicial até 5%; R<sub>2</sub>= rachadura de topo do teor de umidade inicial até 30%; R<sub>3</sub> = rachadura de topo de 30% até 5%.

Fonte: A autora (2020).

Durante a observação do comportamento da madeira para cada ensaio, descritos na tabela 7, os corpos de prova do clone 58 apresentaram maiores índices de rachaduras em relação ao clone GG100 em todos os ensaios, o que pode estar relacionado a maior densidade do clone 58 em relação ao clone GG100.

#### 4.7 Programas de secagem

Com os resultados das equações atualizadas para os ensaios de secagem a 100°C, 80°C e 60°C e com auxílio de cartas psicométricas, foram propostos um programa de secagem para cada clone de híbrido, apresentados nas tabelas 8, 9, 10, 11, 12, 13.

Tabela 8 - Programa de secagem elaborado para madeira do clone 58, a partir do ensaio a 100°C.

Clone 58 - Ensaio de secagem a 100°C					
Etapas de secagem	Temperatura de bulbo seco (°C)	Temperatura de bulbo umido (°C)	Umidade Relativa (%)	umidade de equilíbrio (%)	Potencial de secagem
Aquecimento	42,3	41,8	97,0	23,6	*
Ui até 30%	42,3	40,8	91,0	20,0	1,5
30 a 25%	48,7	46,2	87,0	16,7	1,5
25 a 20%	55,0	50,5	78,0	13,3	1,5
20 a 15%	61,4	53,4	66,0	10,0	1,5
15 a 10%	67,7	53,7	50,0	6,7	1,5
Uniformização	67,7	59,7	68,0	10,0	*
Acondicionamento	67,7	62,7	79,0	12,0	*

Fonte: A autora (2020).

Tabela 9 - Programa de secagem elaborado para madeira do clone GG100, a partir do ensaio a 100°C.

Clone GG100 - Ensaio de secagem a 100°C					
Etapas de secagem	Temperatura de bulbo seco	Temperatura de bulbo	Umidade Relativa (%)	umidade de equilíbrio (%)	Potencial de secagem
Aquecimento	46,0	45,50	97,00	23,40	*
Ui a 30%	46,0	44,50	91,00	20,00	1,5
30 a 25%	52,5	49,50	84,00	16,66	1,5
25 a 20%	59,0	54,50	79,00	13,33	1,5
20 a 15%	65,5	57,50	67,00	10,00	1,5
15 a 10%	72,0	58,00	50,00	6,66	1,5
Uniformização	72,0	64,00	68,00	10,00	*
Acondicionamento	72,0	67,00	79,00	12,00	*

Fonte: A autora (2020)

Tabela 10 - Programa de secagem elaborado para madeira do clone 58, a partir do ensaio a 80°C.

Clone do híbrido 58 - Ensaio de secagem a 80°C					
Etapas de secagem	Temperatura de bulbo seco (°C)	Temperatura de bulbo umido (°C)	Umidade Relativa (%)	umidade de equilíbrio (%)	Potencial de secagem
Aquecimento	40,7	40,2	97,0	23,6	*
Ui até 25%	47,3	45,8	91,0	20,8	1,2
25 a 20%	53,8	48,8	76,0	16,7	1,2
20 a 15%	60,4	57,9	88,0	12,5	1,2
15 a 10%	66,9	56,9	60,0	8,3	1,2
Uniformização	66,9	58,9	67,0	10,0	*
Acondicionamento	66,9	60,9	74,0	12,0	*

Fonte: A autora (2020).

Tabela 11 - Programa de secagem elaborado para madeira do clone GG100, a partir do ensaio a 80°C.

Clone do híbrido GG100 - Ensaio de secagem a 80°C					
Etapas de secagem	Temperatura de bulbo seco (°C)	Temperatura de bulbo umido (°C)	Umidade Relativa (%)	umidade de	Potencial de secagem
Aquecimento	41,4	40,9	97,0	23,6	*
Ui até 25%	48,0	46,5	92,0	20,8	1,2
25 a 20%	54,6	52,1	88,0	16,7	1,2
20 a 15%	61,1	56,1	77,0	12,5	1,2
15 a 10%	67,7	57,7	62,0	8,3	1,2
Uniformização	67,7	59,7	68,0	10,0	*
Acondicionamento	67,7	62,7	79,0	12,0	*

Fonte: A autora (2020).

Tabela 12 - Programa de secagem elaborado para madeira do clone 58, a partir do ensaio a 60°C.

Clone 58 - Ensaio de secagem a 60°C					
Etapas de secagem	Temperatura de bulbo seco (°C)	Temperatura de bulbo umido (°C)	Umidade Relativa (%)	umidade de equilíbrio (%)	Potencial de secagem
Aquecimento	41,50	41,00	97,00	23,60	*
Ui até 30%	41,50	41,00	97,00	23,07	1,30
30 a 25%	47,95	46,45	92,00	19,23	1,30
25 a 20%	54,40	50,90	83,00	15,38	1,30
20 a 15%	60,85	54,80	73,00	11,53	1,30
15 a 10%	67,30	55,30	54,00	7,60	1,30
Uniformização	67,30	59,30	67,00	10,00	*
Acondicionamento	67,30	61,30	74,00	12,00	*

Fonte: A autora (2020).

Tabela 13 - Programa de secagem elaborado para madeira do clone GG100, a partir do ensaio a 60°C.

Clone GG100 - Ensaio de secagem a 60°C					
Etapas de secagem	Temperatura de bulbo seco (°C)	Temperatura de bulbo umido (°C)	Umidade Relativa (%)	umidade de equilíbrio (%)	Potencial de secagem
Aquecimento	41,00	40,50	97,00	23,60	*
Ui até 30%	41,00	40,50	97,00	23,07	1,30
30 a 25%	47,65	46,15	92,00	19,23	1,30
25 a 20%	54,30	49,80	78,00	15,38	1,30
20 a 15%	60,95	54,95	73,00	11,53	1,30
15 a 10%	67,60	55,60	56,00	7,60	1,30
Uniformização	67,60	59,60	68,00	10,00	*
Acondicionamento	67,60	62,60	79,00	12,00	*

Fonte: A autora (2020).

Para análise conclusiva da eficiência de todos os programas de secagem desenvolvidos nesse trabalho, é necessário que os mesmos sejam testados em estufas industriais.

## 5 CONCLUSÃO

Baseando-se nos resultados alcançados e discutidos nesse trabalho, pode-se concluir que o clone 58 (*E. urophylla* x *E. camaldulensis*) apresentou maior média de densidade básica, maior tempo de secagem para os três ensaios e maiores índices de rachaduras em relação as amostras do clone GG100 (*E. urophylla* x *E. grandis*). O clone GG100 apresentou melhores resultados em relação ao comportamento de secagem, tanto para taxas de secagens, quanto ao menor surgimento de defeitos.

Foi analisado e comprovado que a modificação do valor da área superficial das amostras, de 100 cm<sup>2</sup> para 130 cm<sup>2</sup>, a interpolação de dados para identificar o momento exato que as amostras chegam ao teor de umidade de 30 e a 5% e as respectivas massas referentes a esses teores de umidades diferem estatisticamente, alterando os valores de todos os parâmetros de programa de secagem da madeira, tornando-os mais suaves.

Foi possível desenvolver um programa de secagem para cada clone, a partir de três ensaios de secagem drásticos: a 100°C, a 80°C e a 60°C. O ensaio a 100°C apresentou menores intensidades de defeitos e menor tempo de secagem, porém o ensaio a 80°C resultou em menor  $T_i$  e  $T_f$  para o clone 58 e menor  $T_i$ ,  $T_f$  e  $P_s$  para o clone GG100.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSO, V. A. **Caracterização anatômica do lenho e da casca das principais espécies de *Eucalyptus* L'Hérit, cultivadas no Brasil.** São Paulo. 189p. Tese. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. 1987.

ALZATE, S. B. A. Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *E. urophylla*. (2004). 151p. Tese. Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2004.

ANDRADE, A. **Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras.** Dissertação. Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2000.

ANJOS, V. A. dos; STANGERLIN, D. M.; SANDER, A.; BOTIN, A. A.; TENUTTI, J.; FILHO, N. N. S.; BRAGA, R. Caracterização do Processo de Secagem da Madeira nas Serrarias do Município de Sinop, Mato Grosso. **Ciência da Madeira**, v. 02, n. 01, p. 53-63, maio de 2011.

ARAÚJO, F. O. L.; RIETZLER, A. C.; DUARTE, L. P.; SILVA, G. D. F.; CARAZZA, F.; VIEIRA FILHO, S. A. Constituintes químicos e efeito ecotoxicológico do óleo volátil de folhas de *Eucalyptus urophylla* x *E. Grandis* (Mirtaceae). **QUÍM. NOVA**, v.33, nº.7. SÃO PAULO. 2010.

ASSIS, J. A. **Metodologia da secagem drástica aplicada ao desenvolvimento de programas de secagem da madeira juvenil de clones de *Toona ciliata*.** (2018). 61p. Dissertação. Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11941:** madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7190:** projetos de estruturas de madeira. 107p. Rio de Janeiro, 1997.

BARBOSA, C. G.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F. **Elaboração de programa de secagem para madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp.** Cerne, Lavras, v. 11, n. 1, p. 40-48, jan/mar. 2005.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; ROCHA, M. P. Proposta de programa de secagem para a madeira de “guajará” (*Micropholisvenulosa* Mart. etEichler) Pierre, SAPOTACEAE. **Ciência da Madeira** (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v. 03, n. 01, p. 22-32, Maio de 2012.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; ROCHA, M. P.; BATISTA, T. R. Ensaio de Taxa de Secagem e Escore de Defeitos para a Predição da Qualidade da Secagem Convencional da Madeira de *Eucalyptus* sp. – Parte 2. **Floram – Floresta e Ambiente**. 2015.

BISON, O.; RAMALHO, M. A. P.; REZENDE, G. D. S. P.; AGUIAR, A. M. RESENDE, M. D. V. Dialelo parcial entre clones de *Eucalyptus camaldulensis* e clones de *E. urophylla*, *E. grandis* e *E. saligna*. **Rev. Árvore**. v. 33. nº 3. Viçosa. 2009.

BRAGA, J. L. P. **Estabilidade fenotípica de clone de híbridos *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* na Fazenda Bom Jardim - Aparecida - SP.** 2008. 16 p. Tese (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2008.

BRANDÃO, A.T.O. **Determinação de Metodologia para a Indicação de Programas de Secagem de Madeiras.** 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

CAMPBELL, G. S.; HARTLEY, J. Drying and dried wood. In: HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. (Ed.). ***Eucalyptus* for wood production.** Melbourne: Academic Press, 1988. cap. 16, p. 328 – 336.

CINIGLIO, G. **Avaliação da Secagem de Madeira Serrada de *E. grandis* E *E. urophylla*.** 1998. 73p. Dissertação (Mestrado em Ciências - Área de Concentração: Ciências e Tecnologia da Madeira) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

DBCITY.COM. 2019. Disponível em:<a href="https://pt.db-city.com/Brasil--Minas-Gerais--Luminárias" title="Luminárias">Luminárias</a>. Acesso em 21 de março de 2020.

EMBRAPA. **Sistemas de Produção: Cultivo de eucalipto.** Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. 2014.

EVANS, J. Planted forests uses, impacts and sustainability. **FAO.** 2009.

FERREIRA, D. H. A. A.; LELES, P. S. S.; NETO, S. N. O.; PAULA, T. R.; COUTINHO, R. P.; SILVA, R. L. Crescimento e Produção de Eucalipto na Região do Médio Paraíba do Sul, RJ. **Floresta e Ambiente.** V. 24, 9p. 2017.

GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira.** São Paulo: Nobel, 1985. 111p.

GRATTAPAGLIA, D. KIRST M (2008) Genomic applied to *Eucalyptus*: from genetic sequences to breeding tools. **New Phytologist.** 179: 911-929.

IBÁ **Indústria Brasileira de Árvores.** 2019. Disponível em:< <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>> Acesso em 09 de dezembro de 2019.

IBÁ. **Indústria Brasileira de Árvores.** 2017. Disponível em:< <https://www.iba.org/arvores-plantadas>>. Acesso em 03 de fevereiro de 2019.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Cidades e Estados. 2017. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/luminarias.html?>>. Acesso em 07 de fevereiro de 2019.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Cidades e Estados. 2018. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/luminarias.html?> >. Acesso em 07 de fevereiro de 2019.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística**. Agência IBGE notícias. 2017. Disponível em:< <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22620-pevs-2017-producao-da-silvicultura-e-da-extracao-vegetal-chega-a-r-19-1-bilhoes-e-cresce-3-4-em-relacao-a-2016> >. Acesso em 07 de fevereiro de 2019.

IVERSEN, E.; SONDENA, H.; FORLAND, J.; BOE, L.; LOKEN, M. H.; ENKERUD, M. B.; STROM, S.; RUD, S. A.; JESPERSEN, S. L.; RYKKEL, S.; LIED, V. G. A. A Monocultura do eucalipto no Brasil. **Relatório das consequências sócio-ambientais**. Noruega. 2016.

JANKOWSKY, I. P. **Metodologia simplificada para a indicação de Programas de secagem**. Tese. 119 p. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba – SP. 2009.

JANKOWSKY, I. P. Secagem de madeira equipamento e processos. **Revista da madeira**. Ed. N°128. Agosto de 2011.

JANKOWSKY, I. P.; BILIA, F.A.C.; DUCATTI, M.A. 1997. **Ensaio rápido para a seleção de programas de secagem**. Relatório técnico CNPq 510555/93-4. 1997. Piracicaba. 1997.

JANKOWSKY, I. P.; SANTOS, G. R. V.; ANDRADE, A. Secagem da madeira serrada de eucalipto. **Circular Técnica do IPEF**, Piracicaba: n. 199, p. 1-14, 2003.

KLITZKE, R. J.; BATISTA, D. C. Ensaio de taxa de secagem e escore de defeitos para a predição da qualidade de secagem convencional da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**. Sci. For., Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 97-105, mar. 2010.

KLITZKE, R. J.; OLIVEIRA, J. T. da S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias Aplicadas ao Setor Madeireiro**. Secagem da Madeira. In: Jerônimo Monteiro: Suprema, Gráfica e Editora Ltda, 2007. p. 271-342.

KOLLMANN, F.F.P.; COTÊ, W.A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag, 1968. v.1.

LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F. Assessment of wood density of clones of *Eucalyptus grandis*. **Solthern African Forestry Jornal, MenloPark**, v. 191, n. 7, p. 21 – 27, July 2001.

LOIOLA, P. L. **Secagem da madeira de teca (*Tectona grandis* L. f) sob diferentes condições**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. UFPR. 2015.

MANEJO para usos múltiplos. **Revista da madeira**. Edição n° 59. Setembro de 2002. Disponível em:< [http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=14&subject=Manejo&title](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=14&subject=Manejo&title) >. Acesso em 8 de março de 2020.

MARTINS, V.A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília: IBDF, 1988. 56p.

MAURI, R.; OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; ROSADO, A. M.; PAES, J. B.; CALEGÁRIO, N. Density of clones of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* in different conditions of growth. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 1, p. 193-202, jan. / mar. 2015.

MENESES, V. A.; TRUGILHO, P. F.; CALEGARIO, N.; LEITE, H. G. Effect of age and site on the basic density and dry mass of wood from a clone of *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, volume 43, n. 105 p.101-116, março de 2015.

MILLIET, P. B. **A IBÁ e o setor de florestas plantadas**. Industria Brasileira de Árvores. 2015. Disponível em:< <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-tematicas/infraestrutura-e-logistica/anos-anteriores/industria-brasileira-de-arvores-iba-44.pdf>>. Acesso em 06 de fevereiro de 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Plano Agrícola e Pecuário 2011/2012**. Brasília: Mapa/SPA, 2011.

MONTEIRO, T. C. et al. Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, p. 493-505, set. 2017.

OLIVEIRA, J.T.S. O potencial do eucalipto para a produção de madeira sólida. **Revista da Madeira**, n.75, p. 1-8, ago. 2003.

SÁNCHEZ, J. Y. C. S. **Extensometria aplicada à determinação das deformações resultantes das tensões de secagem em madeira de *Corymbia citriodora***. 57 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

SANTOS, G. R. V. Otimização da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden). Dissertação (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”). Piracicaba. São Paulo. 2002.

SCHNEIDER, M. F. Consequências da acumulação de folhas secas na plantação de eucalipto em Zitundo, Distrito de Matutuíne. **Boletim de Investigação Florestal**, p. 37 – 42. Dezembro de 2003.

SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse: Syracuse University, 1971. 131p.

SILVA, J.C. Influência dos tratamentos silviculturais na qualidade da madeira. **Revista da Madeira**, n.75, p.1-10, 2003.

SILVA, J.C. Secagem da madeira de eucalipto. **Revista da Madeira**, n.75. Agosto de 2003.

SIMPSON, W. T. **Dry kiln operator’s manual**. Madson: U. S. Departamento f Agriculture, 1991. 274p.

SKAAR, C. Water-wood relations. **Springer-verlag**. 1988.

SOARES, B. C. D; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M. Analysing the drying behavior of juvenile and mature *Eucalyptus saligna* wood in drastic drying test for optimal drying schedule. **Maderas. Ciencia y Tecnologia**, Concepcion, v. 18, n. 4, p. 543-554, 2016.

SUSSIN, F. **Avaliação de programas de secagem para madeira de eucalipto elaborados com base em testes prévios à alta temperatura.** 161 p. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS. 2012.

TERAZAWA, S. **Methods for easy determination of kiln drying schedule of wood.** Wood Industry, v.20, n.5, p.216-226, 1965.

TSOUMIS, G.T. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization.** New York. Chapman & Hall. 1991.

VECHI, A.; JUNIOR, C. A. O. M. Aspectos positivos e negativos da cultura do eucalipto e os efeitos ambientais do seu cultivo. **Revista Valore.** Volta Redonda. Vol. 3. N. 1. P 495-507. 2018.