

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

**QUALIDADE DA MADEIRA DE TRÊS ESPÉCIES DE  
*Eucalyptus* RESULTANTE DA COMBINAÇÃO DOS  
MÉTODOS DE SECAGEM AO AR LIVRE E  
CONVENCIONAL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Silviana Rosso**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2006**

**QUALIDADE DA MADEIRA DE TRÊS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*  
RESULTANTE DA COMBINAÇÃO DOS MÉTODOS DE SECAGEM AO  
AR LIVRE E CONVENCIONAL**

**por**

**Silviana Rosso**

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

**Orientador: Elio José Santini**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2006**

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

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

**QUALIDADE DA MADEIRA DE TRÊS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*  
RESULTANTE DA COMBINAÇÃO DOS MÉTODOS DE SECAGEM AO  
AR LIVRE E CONVENCIONAL**

elaborada por  
**Silviana Rosso**

como requisito parcial para obtenção de grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. ELIO JOSÉ SANTINI**  
(Presidente/Orientador)

---

**Prof. Dr. MIGUEL ANTÃO DURLO (UFSM)**

---

**Prof. Dr. EDUARDO RIZZATTI (UFSM)**

Santa Maria, 16 de fevereiro de 2006.

## AGRADECIMENTOS

*A Deus por tudo....*

*Aos meus pais; Ilario e Nívia, meus irmãos; João Antonio e Ricardo, pelo apoio, ajuda e por tudo que me proporcionaram, MUITO OBRIGADA!*

*As minhas amigas Patrícia, Simone, Bebel e Márcia, que sempre me apoiaram nas horas de desânimo.*

*Aos meus colegas e mais que amigos: Rômulo Trevisan, Elisete Fontana, Ana Caroline Benedetti, Dalva Pauleski, Eduardo Righi, Rafael Rossato, Cristiano Hack, Douglas Lazaretti, Augusto Murari, Cristiane Pedrazzi, Edicléia Cherobini, Tobias Scaravelli, Janderson Ferner, Luciano Denardi, Magda Zanon, Edson Ferrando, Felipe, Gabriel Berger, Lourdes Patrícia Dacosta e demais colegas da pós-graduação pelo maravilhoso convívio e amizade.*

*Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelos conhecimentos transferidos e apoio recebido no decorrer do curso e na realização deste trabalho.*

*Aos professores da minha comissão de orientação, Prof. Elio José Santini, Clovis Roberto Haselein e Solon Jonas Longhi, pela paciência em me orientarem, MUITO OBRIGADA!*

*As minhas amigas e colegas: Karina, Ediane e Fabiana, que sempre me ajudaram nas tarefas mais árduas no decorrer deste trabalho, aos fins de semana e até mesmo de madrugada, MUITO OBRIGADA!*

*Aos funcionários Tita, Naira, Roberto e Jorge pela ajuda, colaboração e amizade.*

*A Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – Centro de Pesquisas em Recursos Florestais do Rio Grande do Sul (FEPAGRO FLORESTAS – RS), pelo fornecimento do material de pesquisa.*

*Aos funcionários da FEPAGRO FLORESTAS – RS, pela colaboração, paciência e amizade na realização dos trabalhos de campo, Muito Obrigada!*

*Aos Eng.º Florestais da FEPAGRO, Nelson Henrique Abiatti da Silva, Roberto Trevisan e Fabio Fleig pela colaboração e amizade, na realização deste trabalho.*

*A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.*

*A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal por me proporcionar esta oportunidade.*

*Enfim, a todos que, de uma maneira ou de outra, auxiliaram na realização deste trabalho.*

*Os meus mais sinceros agradecimentos.*

*“...UM DIA VOCÊ APRENDE QUE...”*

*“... não importa aonde já chegou, mas aonde esta indo,  
mas se você não sabe para onde esta indo, qualquer lugar serve.*

*Aprende que o tempo não é algo que possa voltar para trás.  
Portanto plante seu jardim e decore sua alma, ao invés de esperar...  
que alguém lhe traga flores.*

*E aprende a construir todas as suas estradas no hoje,  
porque o terreno do amanhã é incerto demais para os planos,  
e o futuro tem o costume de cair em meio ao vão. E você aprende que realmente pode  
suportar...*

*Que realmente é forte, e que pode ir muito mais longe depois que pensar que não pode mais...”*

*“...Aprende que as circunstâncias e os ambientes tem influência sobre nós,  
mas nós somos responsáveis por nós mesmos.*

*Começa aprender que não se deve comparar com os outros, mas com o melhor que você mesmo  
pode ser...”*

*“...Descobre que se leva muito tempo para se tornar a pessoa que se quer ser, e que o tempo é  
curto...”*

*”... E começa a aceitar suas derrotas com a cabeça erguida e olhos adiante, com a graça de um  
adulto e não com a tristeza de uma criança...”*

*WILLIAM SHAKESPEARE.*

## RESUMO

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

### **QUALIDADE DA MADEIRA DE TRÊS ESPÉCIES DE *Eucalyptus* RESULTANTE DA COMBINAÇÃO DOS MÉTODOS DE SECAGEM AO AR LIVRE E CONVENCIONAL**

Autora: Silviana Rosso

Orientador: Elio José Santini

Data e local da defesa: 16 de fevereiro de 2005, Santa Maria.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da madeira de *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, resultantes da combinação dos métodos de secagem ao ar livre e convencional durante as estações do inverno e verão, bem como a eficiência dessa combinação com relação à taxa de secagem e ao tempo. Em cada uma das estações, 40 tábuas de cada espécie foram avaliadas em três fases distintas do processo: antes do início da secagem ao ar livre, após o seu encerramento quando a madeira alcançou em torno de 25% de umidade, e ao término da secagem convencional, aos 12% de umidade. Os principais defeitos analisados nas fases consideradas foram rachaduras, empenamentos, colapso e endurecimento superficial. Os resultados evidenciam que durante o verão o tempo de secagem ao ar livre foi menor do que no inverno, valores comprovados pela taxa de secagem que foi maior no verão, para as três espécies. Os maiores índices de rachadura de topo foram encontrados em madeiras de *Eucalyptus citriodora* no verão e de *Eucalyptus grandis* no inverno. As espécies que apresentaram o maior número de tábuas com rachaduras de superfície foram *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* após a secagem combinada no verão, com os valores de 78, 1 e 46,9%, respectivamente. As tábuas de *Eucalyptus saligna* apresentaram nas duas estações, 37,5% das peças com arqueamento, sendo que a magnitude desse defeito foi maior ao final do processo de secagem combinada. No encurvamento das tábuas apenas a espécie *Eucalyptus grandis*, na estação do inverno apresentou esse defeito, com um valor de 3,13%. Após a avaliação final 100% das peças de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* apresentaram tensões de secagem, nas duas estações. Já *Eucalyptus grandis* apresentou 75% das peças afetadas no verão e 100% no inverno. O encanoamento assim como o colapso não foi verificado em nenhuma das tábuas das três espécies avaliadas.

## ABSTRACT

Master Thesis  
Graduate Program in Forest Engineering  
Santa Maria Federal University, RS, Brazil

### **THE WOOD QUALITY OF THREE SPECIES OF *Eucalyptus* RESULTING FROM THE COMBINATION OF OPEN AIR AND CONVENTIONAL DRYING**

Author: Silviana Rosso  
Advisor: Elio José Santini  
Santa Maria, February 16th, 2005.

This work aims at evaluating the wood quality of *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna*, resulting from the combination of open air and conventional drying methods during the winter and the summer, and also the efficiency of that combination in relation to both the drying rate and the time. In each season, 40 planks of every *Eucalyptus* specie were evaluated in three different stages of the whole process: before the beginning of the open air drying, after its end when the wood reached about 25% of moisture, and at the end of the conventional drying with 12% of moisture. The main defects in those phases were rifts, colapse, and superficial hardening. The results show that in the summer the drying time in the open air was shorter than in the winter. The drying rate was higher in that season for the three species. The highest rates of rifts of top were found in *Eucalyptus citriodora* in the summer and in the *Eucalyptus grandis* in the winter. After the combined drying in the summer, the species that had more planks with rifts of superficie were *Eucalyptus citriodora* and *Eucalyptus saligna*, with numbers of 78,1% and 46,9%, respectively. The *Eucalyptus saligna* planks presented in the two seasons 37% of arch format which was worst at the end of the process of combined drying. The *Eucalyptus grandis* was the only specie that had bending of 3,13% in the winter. In the final evaluation, 100% of *Eucalyptus citriodora* and *Eucalyptus saligna* presented drying tensions in the two seasons. However, *Eucalyptus grandis* was 75% affected by that problem in the summer and 100% in the winter. None of the three species took both canoe format and colapse in any of the planks.

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Programa de secagem, para madeira de <i>Eucalyptus</i> spp. Com 25 mm de espessura.....	45
TABELA 2 – Tempo de secagem combinada para as espécies estudadas.....	51
TABELA 3 – Equações ajustadas para a taxa de secagem de <i>Eucalyptus citriodora</i> no verão em função do tempo decorrido (dias).....	60
TABELA 4 – Equações ajustadas para a taxa de secagem de <i>Eucalyptus citriodora</i> no inverno em função do tempo decorrido (dias).....	60
TABELA 5 – Equações ajustadas para a taxa de secagem de <i>Eucalyptus grandis</i> no verão em função do tempo decorrido(dias).....	60
TABELA 6 – Equações ajustadas para a taxa de secagem de <i>Eucalyptus grandis</i> no inverno em função do tempo decorrido(dias).....	61
TABELA 7 – Equações ajustadas para a taxa de secagem de <i>Eucalyptus saligna</i> no verão em função do tempo decorrido(dias).....	61
TABELA 8 – Equações ajustadas para a taxa de secagem de <i>Eucalyptus saligna</i> no inverno em função do tempo decorrido(dias).....	61
TABELA 9 – Índices de rachadura de topo para as madeiras de <i>Eucalyptus citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus saligna</i> nas duas estações do ano.....	65
TABELA 10 – Porcentagem de peças afetadas por rachaduras superficiais em cada fase da secagem combinada de <i>Eucalyptus citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus saligna</i> .....	67
TABELA 11 – Ocorrência de arqueamento em madeiras de <i>Eucalyptus citriodora</i> ,	70



*Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, nas três fases de avaliação para cada estação.....

TABELA 12 – Ocorrência de encurvamento em madeiras de *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, nas três fases de avaliação para cada estação..... 72

TABELA 13 – Avaliação das tensões de secagem em madeiras de *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* para cada estação após o processo de secagem combinada..... 75

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Serra de fita utilizada no desdobro da madeira.....	38
FIGURA 2 – Empilhamento da madeira ao ar livre.....	40
FIGURA 3 – Empilhamento da madeira para secagem convencional em estufa piloto.....	41
FIGURA 4 – Metodologia adotada para a confecção das amostras de controle da secagem.....	42
FIGURA 5 – Posição das amostras de controle na pilha de madeira.....	44
FIGURA 6 – Disposição das amostras de controle do teor de umidade na carga da estufa.....	45
FIGURA 7 – Rachaduras de topo.....	47
FIGURA 8 – Procedimento adotado para a medição do arqueamento das tábuas.....	48
FIGURA 9 – Procedimento adotado para a medição do encurvamento das tábuas.....	48
FIGURA 10 – Procedimento adotado para a medição do encanoamento das tábuas.....	49
FIGURA 11 – Confecção dos corpos de prova para a avaliação das tensões de secagem .....	49
FIGURA 12 – Avaliação das tensões de secagem.....	50
FIGURA 13 – Curvas de secagem combinada de <i>Eucalyptus citriodora</i> nas estações inverno e verão.....	53
FIGURA 14 – Curvas de secagem combinada de <i>Eucalyptus grandis</i> nas estações	54

do inverno e verão.....	
FIGURA 15 – Curvas de secagem combinada de <i>Eucalyptus saligna</i> nas estações inverno e verão.....	54
FIGURA 16 – Curvas de secagem combinada para as três espécies no verão.....	55
FIGURA 17 – Curvas de secagem combinada para as três espécies no inverno.....	56
FIGURA 18 – Variáveis climáticas obtidas no período de coleta de dados.....	58
FIGURA 19 – Valores estimados para a taxa de secagem para as espécies estudadas em função da estação do ano e do método de secagem.....	59

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
2.1 ÁGUA NA MADEIRA.....	16
2.2 MÉTODOS USUAIS DE SECAGEM .....	20
2.2.1 Secagem ao ar livre.....	20
2.2.2 Secagem à baixa temperatura .....	22
2.2.3 Secagem convencional .....	22
2.2.4 Secagem à alta temperatura .....	23
2.2.5 Secagem combinada .....	24
2.3 PROGRAMA DE SECAGEM .....	25
2.4 TAXA DE SECAGEM .....	28
2.5 DEFEITOS RESULTANTES DA SECAGEM DA MADEIRA.....	28
2.5.1 Rachaduras .....	30
2.5.1.1 Rachaduras superficiais .....	30
2.5.1.2 Rachaduras de topo.....	30
2.5.1.3 Rachaduras internas ou em favos .....	30
2.5.2 Tensões de secagem .....	31
2.5.3 Colapso .....	31
2.5.4 Empenos .....	33
2.6 SECAGEM DA MADEIRA DE EUCALIPTO .....	33
2.7 CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES ESTUDADAS .....	35
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
3.1 COLETA E PREPARO DO MATERIAL .....	38
3.2 SECAGEM AO AR LIVRE .....	39
3.3 SECAGEM EM ESTUFA CONVENCIONAL.....	40
3.4 TAXA DE SECAGEM .....	41
3.5 OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS.....	42

3.6 CONTROLE DO TEOR DE UMIDADE.....	42
3.7 PROGRAMAS DE SECAGEM PARA AS ESPÉCIES ESTUDADAS.....	45
3.8 AVALIAÇÃO DOS DEFEITOS .....	46
3.8.1 Rachaduras .....	46
3.8.2 Empenamentos.....	47
3.8.3 Tensões de secagem .....	49
3.8.4 Colapso .....	50
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>51</b>
4.1 TEMPO E CURVAS DE SECAGEM.....	51
4.2 INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS .....	57
4.3 TAXA DE SECAGEM.....	58
4.4 QUALIDADE DA MADEIRA .....	63
4.3.1 Rachaduras .....	63
4.3.2 Empenamentos.....	69
4.3.3 Tensões de secagem .....	74
4.3.4 Colapso .....	75
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>77</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>79</b>
<b>7 ANEXOS .....</b>	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira sempre ocupou um lugar de destaque dentre os diversos materiais utilizados pelo homem, justificando a busca de novas técnicas de abate, desdobro e secagem que visam aperfeiçoar o aproveitamento da matéria-prima. Os métodos empregados para processar a madeira exercem influência direta sobre sua qualidade e na aptidão para usos específicos, que podem variar tanto para usos internos quanto externos. No entanto, o uso da madeira é influenciado pela sua resistência, teor de umidade e características específicas, bem como pelas condições climáticas do ambiente em que ela permanecerá exposta.

O teor de umidade final desejada da madeira é definido com base na umidade de equilíbrio do seu ambiente de uso, e pode ser estabelecido por meio de diferentes métodos. No caso de madeiras do gênero *Eucalyptus*, particularmente, a escolha do método exerce um papel muito importante, pois trata-se de um material de difícil secagem devido ao desenvolvimento de tensões de crescimento na árvore, à retratibilidade e à ocorrência de defeitos graves na madeira. Em razão disso, os métodos a baixas temperaturas são preferidos, principalmente durante a fase de secagem acima do ponto de saturação das fibras.

Para minimizar os efeitos do método sobre a qualidade da madeira, tem sido testado o uso da combinação da secagem ao ar livre e convencional. Essa alternativa tem como objetivo acelerar o processo de secagem quando a taxa de secagem ao ar livre alcança valores mais baixos. Nesse estágio, a aplicação da secagem convencional aumenta a velocidade de secagem, diminuindo o tempo e, conseqüentemente, os custos do processo.

Esses dois processos, individualmente, possuem características que não os recomendam para a secagem de madeiras de *Eucalyptus*. A secagem ao ar livre depende das condições atmosféricas, razão pela qual o tempo é relativamente longo, o que representa maiores custos. O processo não pode ser controlado, resultando em defeitos que podem desqualificar a madeira para a maioria dos usos. A secagem convencional, por outro lado, permite controle completo do processo, o que diminui o desenvolvimento de defeitos na fase mais crítica. A necessidade de pessoal qualificado aumenta o custo operacional, mas a obtenção de madeira com menos defeitos justifica a opção pela secagem convencional.

Deste modo, a secagem combinada se apresenta como alternativa para minimizar as deficiências encontradas nos dois métodos quando empregados isoladamente. A combinação da secagem ao ar livre e convencional foi utilizada neste estudo com o objetivo de avaliar a

qualidade da madeira seca de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus citriodora* durante as estações de inverno e verão. Além disso, a secagem combinada teve como objetivos específicos:

- ♦ Confeccionar as curvas de secagem resultantes da combinação dos métodos durante as estações de inverno e verão;
- ♦ Elaborar um programa de secagem convencional para as espécies estudadas;
- ♦ Calcular a taxa de secagem para cada espécie e para as duas estações do ano;

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Água na madeira

A madeira resulta de um crescimento orgânico, desempenhando no corpo da árvore viva, ou outra forma qualquer de plantas lenhosas, importantes funções vitais como a condução da seiva, sustentação e armazenamento de substâncias de reserva. A heterogeneidade da madeira deve-se à existência de tipos celulares distintos, adequados ao cumprimento destas funções vitais para as plantas (Marchiori, 1992).

Segundo Jankowsky (2000), na definição da ciência de materiais, a madeira é um sólido poroso com estrutura capilar. Contudo, esse material é produzido pelo crescimento de um vegetal, ou seja, biologicamente ativo, e sujeito às leis da genética e às influências ambientais. Como resultado, a madeira apresenta variações na estrutura anatômica, na composição química e nas propriedades físicas e mecânicas, não apenas entre as diversas espécies arbóreas (diferenças acentuadas e marcantes) como também entre indivíduos de uma mesma espécie e até entre peças obtidas de um mesmo indivíduo. Segundo o autor, cada peça de madeira serrada tem características tão individuais que seria possível determinar uma “impressão digital”, similar à do ser humano.

O movimento de água na madeira se apresenta de duas formas: água livre e de impregnação. Água livre corresponde àquela existente dentro dos lumes e meatos intercelulares, e só é encontrada acima do ponto de saturação das fibras (PSF), em torno de 30% de umidade. Já a água de impregnação ocorre abaixo do ponto de saturação das fibras dentro das paredes celulares.

Durante o processo de secagem, a primeira água a sair é a água livre, após ocorre a saída da água de impregnação. Segundo Durlo (1992), a retirada de água livre do estado saturado até, aproximadamente, 30% de umidade, quando conduzida corretamente provoca apenas uma diminuição no peso da madeira. Leite *et al.* (2000) ressaltam ainda que a retirada da água de evaporação contida na parede provoca alterações nas propriedades da madeira.

Segundo Galvão e Jankowsky (1985), após o corte da árvore, a umidade vai sendo lentamente evaporada até que a umidade da madeira entre em equilíbrio com a umidade



relativa do ar. O teor de umidade em que se dá o equilíbrio depende essencialmente da temperatura e da umidade relativa do ar.

Segundo Baker *apud* Andrade (2000), a água na madeira se movimenta de zonas de alta umidade para zonas de baixa umidade, significando que a parte externa da madeira deve estar mais seca que seu interior, para que haja secagem. Os elementos situados na superfície da madeira cedem água para o ar que a envolve, tanto mais rapidamente quanto mais alta for a temperatura, menor a umidade relativa e maior a velocidade de deslocamento desse ar. Durante a diminuição da umidade da superfície, ocorre movimentação da umidade do interior para a parte externa.

A estrutura anatômica da madeira condiciona a sua permeabilidade, afetando a facilidade de movimentação da água líquida; enquanto que a massa específica determina a quantidade (massa) de água, tanto capilar como higroscópica, a ser removida durante a secagem e afeta a difusão através do material lenhoso (Jankowsky, 2000).

Faz-se necessário saber a umidade de equilíbrio da madeira de cada localidade, pois trata-se de uma ferramenta importante no planejamento, tanto da secagem ao ar livre, quanto na secagem artificial, salvo as exceções onde operações posteriores, como a colagem, por exemplo, exigem umidades inferiores à de equilíbrio (Leite *et al.*, 2000).

De acordo com Mendes *et al.* (2000), a umidade de equilíbrio da madeira varia entre as diferentes espécies, entre cerne e alborno da mesma espécie com a umidade relativa da atmosfera que a circunda e com teor de extrativos. É afetada também pela temperatura, tensão mecânica e pela história da exposição da madeira.

De acordo com Ponce & Watai *apud* Silva *et al.* (1997), o teor de umidade final recomendado para móveis de interiores é de 6 a 10%, enquanto que para móveis de exteriores o teor de umidade é de 12 a 16%.

O teor de água da madeira influi, diretamente, nas suas propriedades físico-mecânicas. A resistência da madeira, de uma maneira geral, decresce com o aumento de sua umidade. É o que ocorre, por exemplo, com a resistência à compressão da madeira de peroba (*Aspidosperma peroba*), que a 0% de umidade é equivalente a 1.250 kgf/cm<sup>2</sup>, decrescendo para cerca de 620 kgf/cm<sup>2</sup> a 30% de umidade. A resistência elétrica da madeira é também inversamente proporcional ao seu teor de umidade, sendo que, de 30% até 0% de umidade, a resistência aumenta cerca de 1 milhão de vezes (Jankowsky, 1990).

Segundo Jankowsky (1990), a umidade da madeira influi ainda no seu tratamento com fluidos, vergamento, resistência ao ataque de fungos xilófagos, colagem, fabricação de compensados, aglomerados e processamento mecânico. De uma forma geral, os produtos industrializados da madeira devem ser condicionados a umidades próximas aquelas que deverão alcançar quando em uso.

A umidade final de secagem de madeira depende do uso final ou de operações posteriores como, por exemplo, a colagem, exige umidades inferiores à de equilíbrio. Dentro deste contexto vários métodos de secagem podem ser empregados, desde o mais simples como ao ar livre, até os mais sofisticados como o uso de secadores à alta frequência e infravermelho. A alternativa mais apropriada, entretanto, precisa considerar o tipo de material a ser seco, a infra-estrutura disponível e os custos de secagem (Mendes *et al.*, 2000).

O padrão de qualidade pretendido para a madeira seca é outro importante aspecto negligenciado pela indústria madeireira, na maioria das situações, porque o usuário simplesmente desconhece o significado do termo qualidade (Jankowsky, 2000).

Toda a madeira serrada apresenta índices de umidade irregulares que podem causar danos à peça bem como o ataque por fungos manchadores e apodrecedores. Então, a madeira precisa passar pelo processo de secagem, etapa que exige minuciosa atenção para evitar o surgimento de falhas. Entre os defeitos que a má secagem pode causar estão os vários tipos de empenamento, o colapso, o endurecimento superficial, as rachaduras, as manchas e os defeitos de grã. Todos esses defeitos podem ser prevenidos e, em determinados estágios, são tratados com sucesso.

De acordo com Santini (1980), a taxa de secagem se refere à quantidade de água evaporada num certo intervalo de tempo, em relação à área de evaporação da madeira. Por meio dela, pode-se estimar o tempo de secagem de uma determinada espécie, da condição verde até o teor de umidade considerado, a uma certa temperatura e umidade do ar.

O tempo entre o início da secagem da madeira verde e a obtenção da umidade desejada depende de fatores que envolvem as características da própria madeira, da pilha, do pátio e das condições climáticas. A perda de umidade no início do processo é bastante rápida, por exemplo; o tempo necessário para secar um lote de madeira, ao ar livre, de 60 para 40% é muito menor do que o tempo de secagem de 40 para 20% (Jankowsky, 1990).

Abordar o padrão de qualidade em produtos à base de madeira, tais como portas, assoalhos e móveis, dentre outros, implica necessariamente em discutir a secagem do material

madeira. De acordo com Jankowsky (1990), a secagem é a operação intermediária que mais contribui para agregar valor aos produtos manufaturados da madeira, sendo uma das fases de maior custo dentro da indústria de transformação. Essas são as principais razões pela busca de maior eficiência no processo de secagem de madeira propriamente dita.

Os critérios de escolha consideram a economicidade do método como um fator decisivo. Assim, a secagem ao ar livre pode ser utilizada como secagem definitiva ou como uma pré-secagem, onde o conhecimento da umidade de equilíbrio da madeira da localidade se torna o parâmetro decisivo para determinar o ponto final da secagem (Mendes *et al.*, 2000).

O tempo de secagem de madeira depende, entre outros fatores, da época do ano em que é feito o abate da árvore. Além disso, o tempo de secagem pode variar em função da espécie, que se torna importante, porque permite um planejamento adequado do estoque de lenha com teor de umidade ideal para o processamento (Leite *et al.*, 2000).

Somente o desconhecimento das características da madeira pode justificar o uso da madeira verde, principalmente nos usos mais nobres, tais como móveis, esquadrias, assoalhos, instrumentos musicais, telhados, carrocerias de caminhões e inúmeros outros produtos nos quais a madeira deve ser usinada, colada, pregada ou parafusada, receber acabamento superficial e manter a estabilidade dimensional. Além de se agregar valor ao produto final, inúmeras são as vantagens de se trabalhar com a madeira seca: a) substancial redução de peso, facilitando o manuseio e reduzindo os custos de transporte; b) aumento na resistência natural ao apodrecimento e ao ataque de insetos; c) melhoria de algumas propriedades mecânicas da madeira, como dureza, resistência a compressão e a flexão; d) aumento da resistência das ligações pregadas, parafusadas e coladas; e) aumento da resistência elétrica da madeira, melhorando suas propriedades de isolamento térmico e acústico; f) melhoria da usinagem da madeira, principalmente molduramento, torneamento, furação e lichamento; g) ausência de deformações, empenamentos e rachaduras da madeira, com a maior estabilidade dimensional; h) possibilidade de acabamentos superficiais, como verniz, pintura e laca; i) possibilidade de tratamento preservativo (Silva, 2001).

Segundo Vermaas *apud* Santos (2002), a madeira de eucalipto geralmente seca devagar, apresentando defeitos característicos como o colapso, alta contração, gradiente de umidade, superfícies rachadas; que, associadas a pronunciadas tensões de crescimento, resultam numa perda significativa de madeira.

## 2.2 Métodos usuais de secagem

### 2.2.1 Secagem ao ar livre

Segundo Ponce e Watai *apud* Silva *et al.* (1997), o objetivo da secagem da madeira ao ar livre é fazer com que a maior quantidade possível de água evapore utilizando-se das forças da natureza. A secagem natural, muitas vezes, é usada como pré-secagem ou secagem parcial, sendo a fase final feita em estufas, como também para secagem completa, dependendo do seu uso.

Segundo Santini (1992), a secagem ao ar livre é um método bastante adotado no Brasil exigindo um investimento relativamente baixo e longo tempo de secagem. A secagem ao ar livre consiste em expor a madeira às condições do ambiente para que, pela ação dos ventos, umidade relativa e temperatura ambiente seja eliminado o máximo da água existente na madeira.

Para que esse processo seja eficiente, são necessários alguns cuidados especiais: como disposição adequada das pilhas no pátio, que devem estar 50 cm acima do solo e este solo deve possuir uma cobertura escura para maior retenção de energia ou se for um pátio gramado, a grama deve ser mantida sempre aparada.

Quanto às tábuas, devem ser empilhadas de maneira que sejam observados suas espessuras e comprimentos e colocação adequada de separadores, de forma que a incidência de defeitos seja mínima e também, nas pilhas, é recomendado que estas possuam uma cobertura para proteção da insolação e precipitação (Severo, 2000).

O pátio deve estar localizado em um local alto, com boa incidência de ventos e radiação solar, bem drenado e se possível próximo à serraria.

Também para Jankowsky (1990), a maneira mais simples de secar madeira serrada é através de sua exposição ao ar livre. Esse processo é bastante rápido no início, isto é, quando a madeira apresenta umidade elevada. Quando a umidade da madeira aproxima-se da umidade de equilíbrio, dependendo da temperatura e da umidade relativa do ambiente, a secagem ao ar livre pode se tornar bastante lenta. De acordo com Mendes *apud* Silva *et al.* (1997), caso haja

necessidade de umidade da madeira abaixo deste ponto, deve-se proceder a secagem em estufas.

As limitações da secagem ao ar livre estão geralmente associadas à sua dependência das condições atmosféricas. Particularmente na Região Sul do País, o processo é mais favorável no período da primavera/verão, quando a temperatura e insolação são mais intensas, e observa-se uma menor umidade relativa e precipitação (Santini, 1992).

Segundo Tomaselli *apud* Santos (2002), sendo o método de secagem mais antigo, no processo ao ar livre a influência do homem é pequena, pois depende basicamente da temperatura, da umidade relativa do ar e velocidade do vento. É evidente que existem regras elementares que devem ser seguidas para que seja obtida uma boa qualidade, e até mesmo para que seja reduzido o tempo de secagem.

Segundo Bauer (1985), a secagem natural é mais ativa nas épocas do ano em que a temperatura é mais elevada e mais baixa a umidade relativa do ar; sua eficiência e velocidade dependem ainda da circulação do vento no interior e entre as pilhas de madeira. É difícil, portanto, predizer tempo e resultados.

De acordo com Silva *et al.* (1997), na secagem natural de tábuas, na maioria das espécies, ocorre perda da metade do teor da sua umidade entre 15 e 30 dias; o restante é eliminado num tempo 3 a 5 vezes maior, permanecendo as tábuas sob as mesmas condições de exposição. Isto é consequência do estado da umidade, visto que a água livre, que corresponde ao estado acima do ponto de saturação das fibras, é evaporada facilmente. Segundo Gomide *apud* Silva *et al.* (1997) o mesmo, entretanto, não se dá com a água de adesão que se apresenta em combinação coloidal com a própria substância madeira, sendo portanto mais fortemente retida que a água livre.

O tempo de secagem ao ar pode variar de acordo com o tipo e com as dimensões das peças a serem secas o que, no caso de tábuas de 3 cm de espessura, pode variar de 3 a 6 meses, dependendo ainda da espécie em questão e das condições atmosféricas do local (temperatura, umidade relativa do ar, vento, entre outros) (Oliveira & Carvalho, 2001).

Assim a secagem ao ar livre pode ser utilizada como secagem definitiva ou como uma pré-secagem, onde o conhecimento da umidade de equilíbrio da madeira da localidade, se torna parâmetro decisivo para determinar o ponto final da secagem (Mendes *et al.*, 2000).

Segundo o mesmo autor, o que se observa é que a umidade de equilíbrio da madeira é uma ferramenta de suma importância no controle do processo de secagem da madeira ao ar

livre. Recomenda ainda, se possível, uma análise dos dados de umidade de equilíbrio específica para o local de secagem de cada localidade. Ainda segundo Mendes *et al.* (2000), a umidade de equilíbrio média para madeiras em Santa Maria, RS, é de 15,1 a 16%.

### 2.2.2 Secagem à baixa temperatura

A secagem à baixa temperatura é realizada com temperaturas inferiores a 50°C, quando basicamente se controla somente a temperatura e a umidade relativa é pouco controlada variando de 50 até 80%. A energia provém normalmente por meio artificial podendo ser natural no caso de secadores solares (Tomaselli & Klitzke, 2000).

A secagem à baixa temperatura tem como finalidade normalmente reduzir o conteúdo de umidade da madeira desde o estado verde até uma taxa de 20 a 30% de umidade retirando toda água livre contida na madeira (Tomaselli & Klitzke, 2000).

A secagem por desumidificação também é caracterizada por um método de secagem à baixa temperatura, que, segundo Santini (1992), geralmente fica entre 30 e 50°C, e o processo inclui uma câmara, um sistema de aquecimento, um sistema de circulação de ar e um desumidificador. O desumidificador é o equipamento mais importante neste processo de secagem, pois tem a função de retirar a umidade do ar circulante na câmara. Para que isto aconteça, o ar saturado passa num sistema de serpentinas refrigeradas, onde é resfriado. Esse resfriamento provoca a condensação da umidade do ar nas serpentinas e a água flui para uma bandeja colocada na base do equipamento, de onde é drenada para o exterior. O ar seco é a seguir aquecido e impulsionado para o interior da câmara. Ao atravessar as pilhas de madeira, o ar adquire umidade e retorna ao sistema de desumidificação, onde sofre reciclagem para manter as condições na câmara.

### 2.2.3 Secagem convencional

De acordo com Santos (2002), o processo de secagem convencional possui vantagens sobre o método de secagem ao ar livre, no entanto, não pode ser indicado para qualquer

espécie, sendo necessário realizar uma adequação do processo dependendo da espécie, da espessura e do uso destinado para este material.

A secagem convencional possui inúmeras vantagens em relação à secagem natural; mas representa também uma parcela significativa do custo de produção, devido principalmente à amortização do investimento nos secadores e a demanda de energia do processo (Santos, 2002).

A saída mais ou menos rápida da água por unidade de tempo é influenciada por variáveis relacionadas ao material, como estrutura anatômica e da estufa, como largura da pilha, espessura dos separadores, velocidade do ar, temperatura da madeira e umidade relativa do ar (Herzberg *et al.* *apud* Santini & Haselein, 2002).

Em se tratando da secagem da madeira de eucalipto, Severo (2000) cita que vários autores recomendam iniciar a secagem desde o seu estado verde até o teor de umidade final em estufa convencional com temperaturas inferiores a 45°C, posteriormente, mantê-la até que toda a água capilar seja removida.

O objetivo principal da secagem artificial é promover o equilíbrio entre a velocidade de evaporação da água na superfície da madeira, a taxa de movimentação interna (tanto de calor como de umidade) e as reações da madeira durante o processo, de forma a tornar a secagem o mais rápido possível e com um nível de perdas ou um padrão de qualidade aceitável para o produto que se pretende (Santos, 2002).

De acordo com Chistensen *apud* Severo (2000), a secagem de eucaliptos, em sua fase inicial, deve ser realizada, utilizando-se baixa temperatura, alta umidade relativa e baixa velocidade do ar, enquanto que a segunda fase da secagem, temperaturas mais elevadas são aceitas sem maiores problemas.

#### 2.2.4 Secagem à alta temperatura

Para Santini (1992), a denominação de “secagem à alta temperatura” é utilizada para identificar um processo que emprega temperaturas superiores a 100°C. Ainda segundo o mesmo autor, a secagem à alta temperatura é conduzida quase que exclusivamente com a

mistura ar-vapor por causa da menor depreciação na madeira e menor deterioração no equipamento.

Existem dois tipos de secagem a alta temperatura; vapor superaquecido e mistura ar-vapor. Na secagem a alta temperatura utilizando-se o vapor superaquecido, o termômetro de bulbo úmido é mantido a 100°C e o bulbo seco a 100°C ou mais, sendo excluída a presença de ar. No processo com a utilização da mistura ar-vapor, o termômetro de bulbo seco é mantido a temperaturas de 100°C ou mais; enquanto que o termômetro de bulbo úmido encontra-se a temperaturas inferiores ao ponto de ebulição da água (Tomaselli, 1976).

### 2.2.5 Secagem combinada

A secagem combinada trata-se da união dos dois métodos: ar livre e convencional, ou seja, a madeira é exposta à secagem ao ar livre para secar até um teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras, após a madeira é submetida à secagem convencional em estufa para que atinja o teor de umidade final desejado. Pode-se ainda descrever a secagem combinada como um meio de facilitar a secagem da madeira até teores de umidade em torno de 25 a 30%, e logo após a saída da água livre, eliminar a água de impregnação de modo artificial.

Segundo Ponce & Watai *apud* Silva *et al.* (1997), a secagem natural, muitas vezes, é usada como pré-secagem ou secagem parcial, sendo a fase final feita em estufas, como também para secagem completa, dependendo do seu uso.

É prática tradicional, em países como Austrália e África do Sul, a secagem ao ar livre da madeira de eucalipto de verde até o PSF (Ponto de Saturação das Fibras), sendo posteriormente seca em estufa convencional até o teor de umidade final (Vermaas, 1995).

Estudos, conduzidos por Tomaselli (1992) citado por Severo (2000), mostram que a utilização de um sistema combinado de pré-secagem ao ar livre e secagem convencional, para madeira de eucalipto de 25 mm de espessura destinado a caixotaria, leva cerca de dois meses para atingir o PSF e, posteriormente, varia de cinco a dez dias em estufa para alcançar o teor de umidade final desejado.



De acordo com Rasmussem *apud* Andrade *et al.* (2001), os programas básicos para espécies folhosas são usados para secar madeira desde a condição úmida, entretanto, eles podem sofrer modificações para aplicação em materiais já secos ao ar.

Os critérios de escolha consideram a economicidade do método como um fator decisivo. Assim a secagem ao ar livre pode ser utilizada como secagem definitiva ou como uma pré-secagem onde o conhecimento da umidade de equilíbrio da madeira da localidade, se torna o parâmetro decisivo para determinar o ponto final da secagem (Mendes *et al.*, 1998).

Quanto às condições de secagem Northway, citado por Ciniglio (1998), recomenda para eucaliptos, a secagem ao ar com proteção da chuva durante as 2 ou 4 primeiras semanas, associado a uma secagem convencional quando a madeira atingir 40–50%. As condições iniciais de secagem devem ser suaves com umidade relativa próxima de 90 % e velocidade do ar baixa (menor que 0,5 m/s). O condicionamento deve ser aplicado após a uniformização para diminuição das tensões.

### **2.3 Programa de secagem**

Os programas de secagem podem ser definidos como uma seqüência pré-estabelecida contendo as alterações adequadas de temperatura e umidade relativa do ar que devem ser aplicadas a uma carga de madeira durante a secagem (Galvão & Jankowsky, 1985). Para se elaborar um programa de secagem devem-se levar em consideração a espécie e suas características, propriedades e espessura da peça, o teor de umidade inicial e final, a finalidade da madeira e o equipamento disponível.

Um programa de secagem deve possibilitar a obtenção de madeira seca no teor de umidade final desejado, com o mínimo de defeitos e no menor tempo possível (Mendes *et al.*, 1998). De acordo com Galvão & Jankowsky (1985), um programa típico de secagem apresenta três fases distintas:

- Fase I: Período de Aquecimento Inicial

É a fase na qual a madeira é aquecida sem iniciar o processo de secagem propriamente dito. Inicialmente, o ar do interior do secador é aquecido até atingir a temperatura de bulbo seco desejada. Posteriormente, promove-se o equilíbrio térmico entre o ar e a madeira. Como

nesta fase é indesejável que a madeira inicie o processo de secagem, utilizam-se umidades relativas elevadas (acima de 85%).

O aquecimento do ar do secador deve ser feito o mais rápido possível. É necessário liberar quantidade suficiente de vapor saturado dentro da estufa para manter a umidade relativa elevada. É importante ressaltar que, durante a elevação da temperatura de bulbo seco, a diferença higrométrica ( $T_s - T_u$ ) não deve exceder 2°C. Portanto, é desejável que a temperatura de bulbo seco seja atingida através da liberação de vapor saturado e aquecido dentro da estufa.

Tendo o ar atingido a temperatura ( $T_s$ ) desejada, inicia-se a fase de aquecimento da madeira, cuja duração é proporcional à espessura das peças em secagem. Hildebrand *apud* Galvão & Jankowsky (1985), aconselha um período mínimo de 1 hora por 1 cm de espessura das peças. Dessa forma, uma carga composta de pranchas com 40 mm de espessura teria de ficar em aquecimento, no mínimo, durante 4 horas.

Durante o aquecimento da madeira, da mesma forma que para o aquecimento do ar, a diferença higrométrica ( $T_s - T_u$ ) não deve exceder a 2°C, principalmente se a espécie em processamento for susceptível a defeitos.

#### - Fase II: Período de Secagem Propriamente Dita

Durante esta fase procede-se a retirada de umidade da madeira. Inicialmente, ocorre a remoção da água livre, durante a qual baixas temperaturas (40°C a 60°C) e altas umidades relativas devem ser utilizadas para prevenir a ocorrência de colapso e rachaduras. Um gradiente de umidade reduzido deve ser mantido, pois um gradiente acentuado resultaria em tensões internas com os conseqüentes defeitos na madeira.

A umidade relativa do ar inicial dependerá da espécie em secagem. Para espécies de difícil secagem, é aconselhável UR superior a 85%. A umidade relativa pode ser diminuída gradualmente após a madeira ter perdido parte da sua umidade inicial. De uma maneira geral, esta deve ser tanto maior quanto mais rápida a circulação do ar e a susceptibilidade da madeira a defeitos.

A temperatura inicial do termômetro seco deve ser mantida até que a água livre da madeira seja removida. Os valores máximos dependem da espécie e da espessura da madeira; para maiores espessuras, adotam-se temperaturas mais baixas. Convém ressaltar que as peças de madeira em secagem, com umidade média de 30%, apresentaram valores mais elevados no

seu interior devido ao gradiente de umidade que se estabelece durante o processo. Os programas prevêm uma margem de segurança levando em conta esse fenômeno.

Apesar de condições suaves de temperatura e umidade relativa no início da secagem, a remoção da água livre processa-se de forma relativamente mais rápida, principalmente se a espécie for permeável.

A retirada de água higroscópica caracteriza-se pela elevação da temperatura com a redução simultânea da umidade relativa. Quando o centro das peças de madeira atingir 30% de umidade, a temperatura pode ser energicamente elevada. Entretanto, temperaturas muito elevadas podem causar redução permanente e significativa da resistência natural da madeira.

- Fase III: Período Final de Controle de Qualidade

Esta fase é constituída de duas etapas distintas:

- a) Uniformização: visa aumentar o teor de umidade das peças muito secas e continuar secando as muito úmidas, homogeneizando a carga. Inicia-se a uniformização quando a tábua mais úmida ou a média da umidade das tábuas atingir o valor final desejado. mantém-se então a temperatura do termômetro de bulbo seco (TS) igual ao valor da última etapa do programa de secagem utilizado, ajustando a temperatura do termômetro de bulbo úmido (TU) para obter na estufa uma umidade de equilíbrio da madeira igual à umidade final desejada. O principal objetivo da uniformização é reduzir a variação da umidade que ocorre entre peças da madeira que constituem a carga. Dificilmente obtém-se, nas etapas finais de secagem, um teor de umidade semelhante para todas as peças. De acordo com Pratt *apud* Galvão & Jankowsky (1985), uma amplitude de variação de 2% na umidade ao fim da secagem pode ser considerada um bom resultado do ponto de vista prático. Entretanto, para folhosas de alta densidade, esses limites não podem ser obtidos sem períodos excessivamente longos de uniformização. A dificuldade de obter uniformização aumenta com o teor de umidade final desejado.
- b) Condicionamento: esta etapa visa primordialmente à eliminação de tensões internas. É o tratamento indicado para peças que devem ser novamente desdobradas. Basicamente, toda a operação consiste em elevar significativamente a umidade relativa de forma a ocorrer o reumedecimento das camadas superficiais das peças, suavizando o gradiente de umidade.

## **2.4 Taxa de secagem**

Segundo Santini (1992), a taxa de secagem é a percentagem de água evaporada da madeira por unidade de tempo de exposição ao ar livre, sendo influenciada por uma série de fatores relacionados com a própria madeira, com a pilha e sua distribuição no pátio, e com as condições climáticas. O mesmo autor cita ainda que, de uma maneira geral, madeiras duras de folhosas secam mais lentamente que as macias ou madeiras de coníferas, basicamente devido a sua estrutura anatômica.

A estrutura anatômica da madeira pode restringir a taxa de movimentação da água. Além disso, a sensibilidade da estrutura anatômica pode acentuar o desenvolvimento de tensões durante a secagem, limitando a taxa de secagem e causando vários defeitos de secagem (Vermaas, 1998).

As limitações da secagem ao ar livre estão geralmente associadas às condições atmosféricas. Particularmente na Região Sul do País, o processo é mais favorável no período da primavera/verão, quando a temperatura e insolação são mais intensas, e observa-se uma menor umidade relativa e precipitação (Santini, 1992).

O movimento de fluídos na madeira de eucalipto durante a secagem é afetado pela presença de tiloses e incrustações nos elementos de vaso. Além disso, um outro aspecto é a extensão de contato direto entre os vasos e outros elementos anatômicos, que são influenciados pela natureza das pontuações que variam de acordo com os elementos contíguos (Hillis, 1984).

## **2.5 Defeitos resultantes da secagem da madeira**

A retirada de água da madeira é acompanhada, com freqüência,efeitos decorrentes das inevitáveis contrações e tensões que se desenvolvem nas peças (Mendes *et al.*, 1998). A aceitação dos defeitos pode variar conforme a intensidade que eles aparecem nas peças e dependendo do uso final do material.

Segundo Santos (2002), os defeitos, que geralmente aparecem durante a secagem da madeira, podem ser consequência do processo de secagem ou decorrentes das características da madeira.

Na secagem convencional, é comum a incidência de defeitos que, em sua maioria, estão associados aos programas de secagem e sua adequação.

Seguindo a definição apresentada por Jankowsky (2000), os principais atributos de qualidade para madeira seca são:

- teor de umidade compatível com o uso pretendido;
- mínimo de variação no teor de umidade, tanto dentro de cada peça como entre todas as peças;
- livre das tensões de secagem;
- livre de defeitos visíveis, tais como rachaduras, empenamentos, colapso e manchas.

Em termos mais simples, a incidência de defeitos significa que a evaporação de umidade na superfície ocorre a uma taxa superior à da movimentação do interior até a superfície; ou seja, as condições (umidade relativa do ar e temperatura) do processo são por demais agressivas para a madeira. Diminuir a incidência de defeitos requer uma secagem mais suave, implicando em aumentar o tempo de processo.

Uma das alternativas que tem sido recomendadas para contornar este inconveniente é a remoção da maior quantidade possível de água livre, antes de se iniciar a secagem convencional. Pressupõe-se que a pré-secagem ao ar, além de reduzir o tempo necessário para a posterior secagem artificial, também reduzirá a incidência dos defeitos normalmente observados nas fases iniciais do processo (Santos, 2002).

Os denominados defeitos de secagem decorrem, principalmente, da falta de cuidado no empilhamento e da ocorrência de tensões internas durante a secagem. No processo convencional, a madeira perde umidade da superfície em direção ao interior da peça, causando retrações diferenciadas entre a superfície mais seca e a parte interna mais úmida. A diferença nas retrações provoca o aparecimento de tensões internas que, superando a resistência mecânica da madeira, terão como consequência o aparecimento dos defeitos como as rachaduras e colapso (Jankowsky, 2000).

A seguir serão apresentados os defeitos mais comuns desenvolvidos durante a secagem segundo Arganbright *apud* Mendes *et al.* (1998b):

## 2.5.1 Rachaduras

### 2.5.1.1 Rachaduras superficiais

As rachaduras superficiais aparecem quando tensões que excedem a resistência da madeira à tração perpendicular às fibras desenvolvem-se na superfície, devido a uma secagem inicial muito acelerada que produz diferença acentuada entre os teores de umidade da superfície e do centro da madeira (superfície sob tração e interior sob compressão) (Ciniglio, 1998).

Quanto mais espessa for a madeira, maior a possibilidade do aparecimento de rachaduras superficiais. Este defeito ocorre, principalmente, na fase inicial da secagem e, quando detectado a tempo, pode ser reduzido, aumentando-se a umidade relativa dentro da câmara. Isto é conseguido elevando-se a temperatura do bulbo úmido, sem alterar a temperatura do bulbo seco (Mendes *et al.* 1998b).

### 2.5.1.2 Rachaduras de topo

Estas rachaduras são causadas pela secagem mais rápida das extremidades em comparação com o restante da peça de madeira, principalmente durante a fase de aquecimento. São mais freqüentes em peças de maiores espessuras e podem ser reduzidas aplicando-se o mesmo procedimento descrito no item anterior, sendo também recomendada a vedação dos extremos com produtos impermeabilizantes (resinas hidroasfálticas ou tintas apropriadas) (Mendes *et al.* 1998b).

### 2.5.1.3 Rachaduras internas ou em favos

Aparecem na fase de secagem, quando se desenvolvem as tensões de tração no interior da peça (superfície sob compressão e centro sobre tração). Estas tensões causam rachaduras internas quando o esforço excede as forças de coesão entre as células da madeira. Apesar de

estas rachaduras manifestarem-se somente na fase de secagem, seu controle deve ser feito ainda na fase de aquecimento. Quando muito acelerada, a secagem causa um desequilíbrio entre as tensões no interior e na superfície da peça que acaba por produzir rachaduras internas, à medida que o processo evolui. Deve-se manter, na fase da secagem, a temperatura do bulbo seco e aumentar a temperatura do bulbo úmido (umidade relativa mais alta dentro da câmara). As tensões, que se desenvolvem na peça de madeira ao longo da secagem, podem ser determinadas e avaliadas pelo “teste do garfo” (Mendes *et al.* 1998b).

### 2.5.2 Tensões de secagem

Durante a secagem convencional, é comum desenvolverem-se tensões de compressão na superfície e de tração no interior da peça de madeira causadas pelo aparecimento de um gradiente de umidade ao longo da espessura. Se esses esforços de compressão e tração forem superiores ao limite de proporcionalidade (limite elástico) da madeira, podem causar deformações residuais que permanecem mesmo quando o gradiente de umidade ao longo da espessura é eliminado. Esse fenômeno, conhecido por endurecimento superficial ou encruamento, é detectado e analisado pelo teste do garfo (Mendes *et al.* 1998b).

### 2.5.3 Colapso

Deformação causada por forças capilares durante a remoção brusca de água que acarreta a perda de turgescência das células. Isto acontece com madeiras com alto teor de umidade e, em geral, com altos valores de extrativos, submetidas à secagem sob temperaturas elevadas. Inicialmente não é visível, mas a madeira pode apresentar-se ligeiramente ondulada com o decorrer do processo de secagem. Para reduzir a ocorrência do colapso, deve-se abaixar a temperatura do bulbo seco nas fases iniciais; aquecimento e secagem. Quando ocorrer em níveis moderados, pode ser removido no acondicionamento (Mendes *et al.* 1998b).

Segundo Santini & Tomaselli (1980), o fator limitante na secagem de madeiras propensas ao colapso é frequentemente o problema da remoção da água livre ou capilar contida na forma líquida nas cavidades celulares.

A contração severa da madeira causada pelo colapso celular é reconhecida como um fenômeno distinto da contração normal, a qual se manifesta devido à retração das paredes celulares durante a secagem acima do ponto de saturação das fibras (Santini & Tomaselli, 1980).

De acordo com Jankowsky (2004), de forma geral, os fatores que influem no colapso da madeira são: pequeno diâmetro dos capilares; altas temperaturas no início da secagem; baixa densidade da madeira; alta tensão superficial do líquido que é removido da madeira, causando alta tensão capilar.

A baixa permeabilidade da madeira de eucalipto é tida como a principal responsável pela dificuldade da secagem e alta incidência de defeitos, principalmente o colapso (Santos *et al.* 2003).

Ciniglio (1998), cita ainda que as madeiras suscetíveis a colapsar não devem ser expostas a temperaturas superiores a 40°C até alcançar umidade de 30% no centro das tábuas e 25% em média. A razão de limitar a temperatura baseia-se no fato que esta intensifica o colapso por degradação térmica, limitando sua recuperação. Santini & Tomaselli (1980) citam que todas as evidências indicam que a temperatura da madeira de espécies com colapso precisa ser mantida abaixo de 60°C durante a secagem até que todas as partes das tábuas estejam abaixo do ponto de saturação das fibras.

O colapso caracteriza-se por ondulações nas superfícies da peça de madeira, que pode apresentar-se bastante distorcida. É basicamente ocasionado por forças geradas durante a movimentação da água capilar, as quais deformam as células. Aparece quando a tensão desenvolvida durante a saída da água capilar supera a resistência da madeira à compressão (Jankowsky, 2004).

O colapso na madeira é uma forma de contração que ocorre durante a secagem acima do ponto de saturação das fibras devido ao achatamento ou deformação das cavidades celulares (Tomaselli & Santini, 1980).



#### 2.5.4 Empenos

Existem cinco formas comuns de empenamentos, que normalmente, decorrem do processo de secagem natural ou artificial: arqueamento, encanoamento, encurvamento, torcimento e forma diamante. Estas deformações são causadas por:

- diferenças entre contrações radiais, tangenciais e longitudinais em uma mesma peça de madeira (anisotropia), à medida que esta vai secando;
- presença de lenho juvenil;
- desvios da grã;
- presença de madeira e tração ou compressão, formada durante o crescimento da árvore;
- presença de endurecimento superficial não removido pelo condicionamento.

Com relação à secagem pouco pode ser feito para minimizar o aparecimento de empenos, a não ser se tornar os programas menos severos (diminuindo o potencial de secagem em cada passo do processo) e evitar teores de umidade finais muito baixos, uma vez que a contração da madeira aumenta com o decréscimo do teor de umidade. Neste aspecto, a uniformização é bastante importante, pois ajuda a evitar que parte da carga apresente um teor de umidade muito abaixo do desejado. De maneira geral, os procedimentos mais efetivos para a redução de empenos são: desdobro adequado, empilhamento correto com alinhamento vertical perfeito dos separadores, pré-secagem ao ar livre antes da secagem em estufa e restrição da carga por meio da colocação de pesos no topo da pilha ou do tracionamento da pilha com molas (Mendes *et al.* 1998a).

#### 2.6 Secagem da madeira de eucalipto

Em face aos elevados gradientes de umidade no interior da madeira de eucalipto, aliados à sua própria constituição anatômica, que dificulta muito a saída de umidade do seu interior, esse gênero pode ser considerado de difícil secagem. Os reflexos da anatomia são basicamente decorrentes de pontuações de pequenos diâmetros, o que dificulta ou impede o

deslocamento de água por capilaridade ou na forma líquida no interior dessa madeira (Oliveira & Carvalho, 2001).

A madeira de eucalipto, em geral, deve ser seca em condições suaves de temperatura e umidade relativa do ar, a fim de proporcionar uma secagem mais lenta e com a menor quantidade de defeitos possíveis (Silva, 2001).

A madeira com teor de umidade por volta de 15% tem suas propriedades melhoradas em vários aspectos, com destaque para a maioria das propriedades de resistência, facilidade nas operações de acabamento (furação, aplainamento, lixamento, etc.), colam mais facilmente, não apodrecem, deixando de ser atacadas por significativa quantidade de insetos que somente atacam a madeira com elevado teor de umidade (Oliveira & Carvalho, 2001).

É aconselhável a utilização da pré-secagem ao ar ou pré-secadores: e quando houver viabilidade econômica do processo, recomenda-se a utilização de desumidificadores (Silva, 2001). Ainda segundo Silva (2001), há necessidade de se empregar baixas temperaturas nos primeiros estágios da secagem, devidos aos riscos de se remover muito rapidamente a água capilar em altas temperaturas, resultando em colapso.

Assis (1999) afirma que as perdas significativas em função das rachaduras associadas às tensões de crescimento e os defeitos de secagem têm sido considerados um dos principais entraves à utilização econômica de espécies do gênero *Eucalyptus* para a produção de madeira serrada.

Martins *et al.* (2001) recomendam uma secagem bastante criteriosa para a madeira de eucalipto. Utilizando-se de condições apropriadas, é possível evitar defeitos como rachaduras, colapso e empenamentos, reduzir as perdas em volume de madeira que aumentam os custos do produto final.

Um dos defeitos que mais depreciam a qualidade da madeira, de acordo com Ilic & Hills (1986), é o colapso, assim como os empenamentos. As rachaduras também podem ocorrer na superfície e no interior, como as do tipo “favo de mel” e particularmente, associadas com colapso. No gênero *Eucalyptus*, esses problemas variam de acordo com a espécie, a procedência e a posição de madeira na árvore.

A secagem acelerada de espécies refratárias invariavelmente resulta em inaceitáveis níveis de degradação. Para muitas madeiras refratárias, o colapso é um dos principais defeitos associado à secagem, particularmente em processos de secagem acelerada (Choong *et al.* 1999).

Vermaas (1995) salienta ainda que, acima do ponto de saturação das fibras, o eucalipto apresenta uma grande tendência a rachaduras e colapso, principalmente em temperaturas elevadas. Para a secagem de madeira de eucalipto com 25 mm ou mais de espessura, a temperatura não deve exceder 45°C durante as fases iniciais do processo, caso contrário, essa madeira está propensa ao desenvolvimento de rachaduras de superfície e internas.

## 2.7 Características das espécies estudadas

### *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

Esta espécie ocorre naturalmente na Austrália, ao norte do Estado de New South Wales. A madeira é considerada medianamente leve e é fácil de ser trabalhada em operações de usinagem. É considerada de baixa estabilidade, mas de elevada permeabilidade. A madeira é utilizada intensivamente na Austrália, África do Sul, Brasil e Argentina como madeira de construção e matéria prima na fabricação de móveis, mas também é utilizada em caixotaria, paletes, carvão e mourões. As madeiras convenientemente manejadas podem produzir madeira excelente para serraria e laminação. É a principal matéria-prima para as indústrias de celulose, painéis aglomerados e chapas duras. A madeira é considerada moderadamente leve e com cerne diferenciado.

Segundo Marchiori & Sobral (1997), a madeira de *Eucalyptus grandis* tem coloração rosado-clara, moderadamente dura e resistente à decomposição natural. Assemelha-se a *Eucalyptus saligna*, embora seja um pouco mais leve.

Segundo Stumpp (2000), a madeira de *Eucalyptus grandis* apresenta massa específica de 0,504 g/cm<sup>3</sup> para árvores com 16 anos de idade, enquanto Oliveira (1997), cita valores médios de 0,55 g/cm<sup>3</sup> para a mesma espécie com a mesma idade.

Um importante fator, que deve ser levado em consideração, são as contrações que a madeira sofre abaixo do PSF. Para *Eucalyptus grandis*, segundo Steiner (2001), em pesquisa realizada ao IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo), os valores encontrados para contrações volumétrica, radial e tangencial, foram respectivamente: 14,2, 5,3 e 10,5%.

A contração e defeitos associados de secagem são os principais problemas encontrados na utilização de madeira serrada de eucalipto de rápido crescimento (Lima *et al.*, 1999).

Para *Eucalyptus grandis* (REVISTA MADEIRA, 2001) em um programa de secagem para madeira de 2,5 cm de espessura os valores percentuais de contração foram contração tangencial: 9,9; contração radial: 7,4; contração volumétrica: 16,8.

### ***Eucalyptus citriodora* Hook**

A espécie ocorre nas regiões norte e central de Queensland, principalmente entre as latitudes de 15,5 a 25°S, em altitudes compreendidas entre 80 a 800 metros. A madeira é considerada pesada, onde as propriedades de resistência são elevadas. É uma madeira de alta estabilidade, mas de baixa permeabilidade. É muito utilizada em componentes estruturais para a construção, caixotaria, postes, mourões, dormentes, lenha e carvão. A madeira é considerada densa e pesada, com cerne diferenciado.

Lima *et al.* (1999) citam os seguintes valores para as contrações de *Eucalyptus citriodora*, a contração tangencial foi de 9,40, radial de 6,90 e volumétrica : 18,20%.

A madeira, de cor castanho-clara ou castanho-acinzentada, possui massa específica de 0,93 e 1,04 g/cm<sup>3</sup> em material procedente do Rio Grande do Sul e boa resistência à deterioração. Por suas características mecânicas favoráveis, indica-se para o desdobro em serrarias, postes e construção civil em geral. Pode ser torneada com facilidade (Marchiori & Sobral, 1997).

### ***Eucalyptus saligna* Smith**

Ocorre naturalmente na Austrália na região sul de Queensland e na região litorânea e vales das cadeias montanhosas próximas ao litoral de New South Wales. A madeira é muito semelhante à de *Eucalyptus grandis*, sendo comumente confundida com ela, em função de inúmeras afinidades entre elas. A madeira é considerada medianamente leve e fácil de ser trabalhada em operações de usinagem. É considerada de baixa estabilidade, mas de elevada permeabilidade. A madeira é utilizada intensivamente como madeira de construção e

matéria-prima na fabricação de móveis, mas também é utilizada em caixotaria, paletes, celulose e papel, chapas duras, painéis aglomerados, carvão e mourões. É considerada uma das espécies mais versáteis e indicadas para uso múltiplo. No Brasil, a espécie tem sido plantada intensivamente e possui a segunda maior área plantada, após o *Eucalyptus grandis*.

A madeira, rosado-clara ou avermelhada, dura, resistente e de curta durabilidade natural, apresenta densidade um pouco superior à do *Eucalyptus grandis*, alcançando 0,69 g/cm<sup>3</sup>. Apesar da dificuldade de secagem, indica-se para construções e mobiliário. É uma das mais cultivadas no sul do Brasil e muito utilizada em reflorestamentos para a indústria de celulose (Marchiori & Sobral, 1997).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Coleta e preparo do material

O material utilizado para a realização do trabalho foi cedido pela Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – Centro de Pesquisa em Recursos Florestais (FEPAGRO FLORESTAS), localizado no Distrito da Boca do Monte em Santa Maria, RS. Foram utilizadas peças de madeira provenientes de árvores de três espécies de eucalipto: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna*. Para o desenvolvimento da pesquisa, utilizou-se uma carga de cada espécie para cada uma das estações: verão e inverno, totalizando seis cargas. As tábuas possuíam as seguintes dimensões 3 m x 0,15 m x 0,0254 m (comprimento x largura x espessura) respectivamente. Cada carga foi formada com 40 tábuas de cada espécie, totalizando 120 tábuas para cada uma das estações estudadas.

A madeira utilizada foi desdobrada na FEPAGRO, utilizando um engenho de serra, e o sistema de corte foi o de cortes tangenciais para a retirada das tábuas(Figura 1).

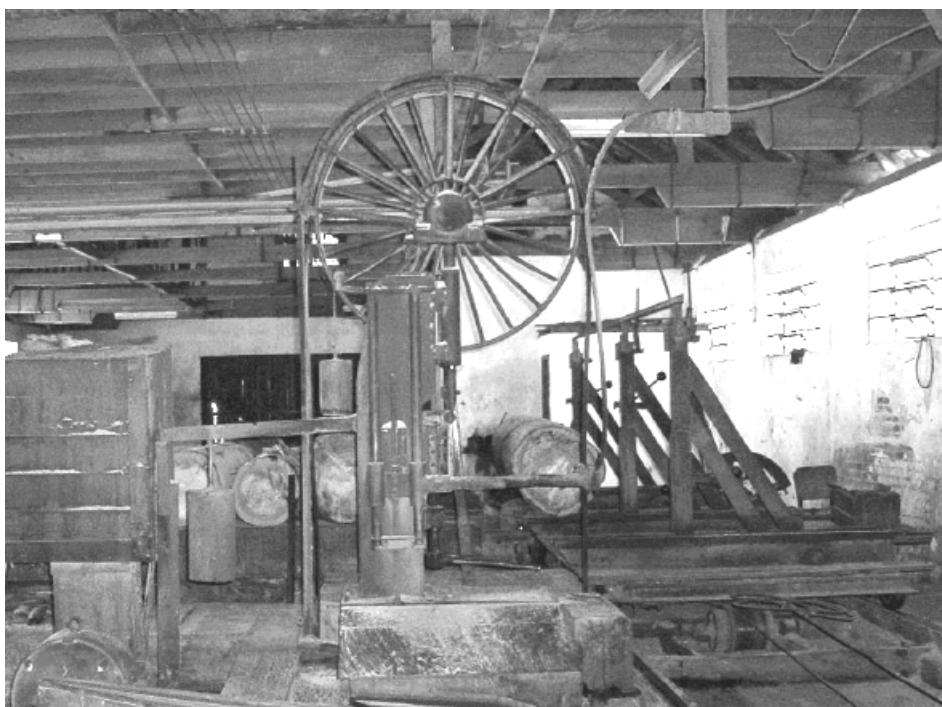


FIGURA 1: Serra de fita utilizada no desdobro da madeira

### 3.2 Secagem ao ar livre

A secagem ao ar livre foi executada em uma área cedida pela Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – Centro de Pesquisa em Recursos Florestais (FEPAGRO FLORESTAS), localizado no Distrito da Boca do Monte em Santa Maria, RS.

As tábuas foram empilhadas sobre uma fundação de madeira, 0,5 m acima do nível do solo, tendo as pilhas a uma altura de 1,0 m, largura de 0,60 m e 3 m de comprimento (Figura 2). Foram utilizados separadores com seção transversal de 2,5 x 2,5 e com comprimento igual a 60 cm, os quais permitiam a passagem do ar. Os separadores colocados a uma distância de 50 cm uns dos outros, para uma menor incidência de defeitos, totalizando sete separadores por fileira de tábua. Os topos das tábuas foram impermeabilizados com tinta para reduzir a velocidade de saída de água, para diminuir a incidência de defeitos.

Cada pilha foi formada por três colunas de 10 tábuas, sendo uma de cada espécie, tendo suas posições alternadas para que nenhuma das espécies sofresse interferência do centro da pilha.

O pátio de secagem foi instalado em um local alto e plano, com boa drenagem, sem obstáculos à ventilação. As pilhas foram confeccionadas afastadas umas das outras em torno de 1,0 m para facilitar a ventilação e o acesso às pilhas.

Durante o período da secagem o gramado sob as pilhas foi aparado com frequência. As pilhas foram orientadas na direção dos ventos predominantes e cobertas para diminuir a incidência das precipitações e dos raios solares. As tábuas foram presas com grampos para diminuir a incidência dos defeitos.



FIGURA 2: Empilhamento da madeira para secagem ao ar livre.

### 3.3 Secagem em estufa convencional

A secagem em estufa, por se tratar de um método completamente controlado, foi executada com 5,0 horas de aquecimento e após a secagem com uma temperatura inicial de 45°C e temperatura final de 60°C, com posterior condicionamento de 8 horas, conforme especificado no programa. O processo foi realizado em uma estufa piloto pertencente ao Laboratório de secagem do Departamento de Ciências Florestais da UFSM, com capacidade de 1,0 m<sup>3</sup> de madeira serrada. Sobre as tábuas foram colocadas placas de concreto com uma carga de 45,0 kg/m<sup>2</sup>, para reduzir a incidência de empenamentos nas peças superiores (figura 3).

As pilhas na secagem convencional tinham 3,0 m de comprimento por 0,65 m de largura e 0,45 m de altura. Foram utilizados na secagem convencional, separadores vazados como pode ser observado na Figura 3, para permitir a passagem do ar aquecido pelo interior da pilha.

O fluxo de ar dentro da estufa por entre as tábuas foi de aproximadamente 1,5 m/s.





FIGURA 3: Empilhamento da madeira para secagem convencional em estufa piloto. (TBS = Termômetro de bulbo seco, TBU = termômetro de bulbo úmido).

### 3.4 Taxa de secagem

A taxa de secagem foi determinada para os dois métodos de secagem por meio da seguinte equação descrita por Santini (1980):

$$T_s = \frac{Q_{ae}}{A_e \times T}$$

Onde :  $T_s$  = Taxa de secagem ( $\text{g}/\text{cm}^2\text{h}$ );

$Q_{ae}$  = Quantidade de água evaporada (g), obtida pela diferença dos pesos das amostras em determinados intervalos de tempo.

$A_e$  = Área superficial da peça ( $\text{cm}^2$ ), obtida pela medida real da área das amostras controle.

$T$  = Tempo de secagem decorrido (horas).

### 3.5 Obtenção das variáveis climáticas

As variáveis climáticas foram obtidas na Estação Climatológica do Departamento de Fitotecnia da UFSM.

- ⇒ Medida do vento: compreende sua velocidade e direção. Para medir a velocidade do vento foi utilizado um anemômetro sendo os valores informados em m/s.
- ⇒ Medida da temperatura: termômetros comuns, de mínima e de máxima instalados a 1,5 m de altura a sombra, foram utilizados para medir a temperatura (°C).
- ⇒ Umidade do ar: medida por meio de um termohigrógrafo.
- ⇒ Precipitação por meio de um pluviômetro.

### 3.6 Controle do teor de umidade

Para se controlar a umidade da madeira, foram usadas 8 amostras de controle de secagem para cada espécie com as dimensões de 2,5 x 15,0 x 50,0 cm de espessura, largura e comprimento, componentes da pilha respectivamente. Estas amostras foram confeccionadas a partir de tábuas cortadas tangencialmente, como mostra a Figura 4:

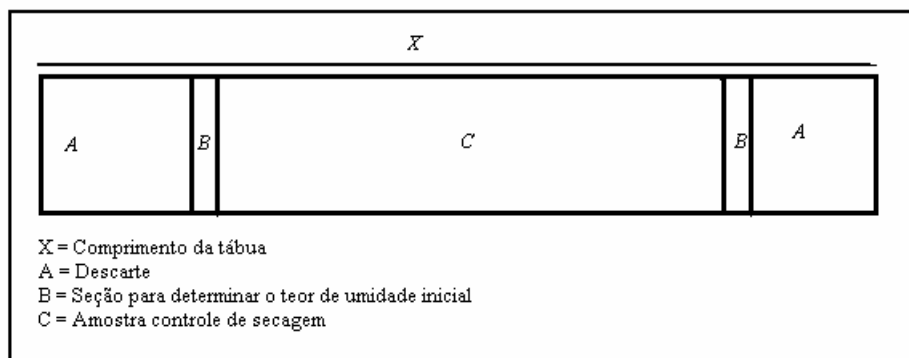


FIGURA 4: Metodologia adotada para a confecção das amostras controle de secagem.

Antes da secagem da madeira, o teor de umidade inicial de cada amostra foi calculado através da média aritmética das duas seções (B). O teor de umidade de cada seção foi determinado pela equação:

$$TU = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100$$

Onde : TU: teor de umidade da seção em porcentagem.

Pu: peso úmido da seção em gramas.

Ps: peso seco da seção em gramas.

As amostras de controle foram imediatamente pesadas em balança de precisão de 0,01g para a obtenção do peso inicial. Após a confecção, marcação e pesagem foi aplicado selante (tinta) no topo para minimizar a perda de água no sentido longitudinal.

Em cada pilha de madeira foram colocadas duas amostras de controle em locais diferentes de fácil remoção e reposição, de modo a permitir uma medição real e representativa do teor de umidade das mesmas. O teor de umidade de cada pilha foi calculado por meio da seguinte equação:

$$TU_a = \frac{P_a (TU_i + 100)}{P_i} - 100$$

Onde :

TU<sub>a</sub>: teor de umidade atual, %

P<sub>a</sub>: peso atual da amostra, g.

P<sub>i</sub>: peso úmido da amostra, g.

TU<sub>i</sub>: teor de umidade inicial, %.

O controle do teor de umidade durante a secagem ao ar livre foi feito mediante a pesagem das amostras, utilizando uma balança eletrônica de precisão de 0,01g, até que a carga alcançasse o teor de umidade abaixo de 25%. Estas amostras estavam dispostas no terço

superior e inferior de cada pilha, para permitir uma melhor representação do teor de umidade(Figura 5).



FIGURA 5: Posição das amostras de controle de secagem na pilha de madeira.

Após atingir esse teor de umidade, que foi determinado como o mais adequado, para que se finalizasse o processo de secagem ao ar livre, as tábuas foram encaminhadas para o Laboratório de Produtos Florestais da UFSM, para se efetuar a secagem convencional.

As tábuas foram mantidas envoltas em lona plástica para que seu teor de umidade não fosse alterado até o início da secagem convencional.

O teor de umidade da carga de madeira durante a secagem convencional foi determinado do mesmo modo que a secagem ao ar, por meio da pesagem de amostras controle. Periodicamente, as amostras de controle foram retiradas da estufa, pesadas em balança analítica digital e novamente repostas na estufa (Figura 6).

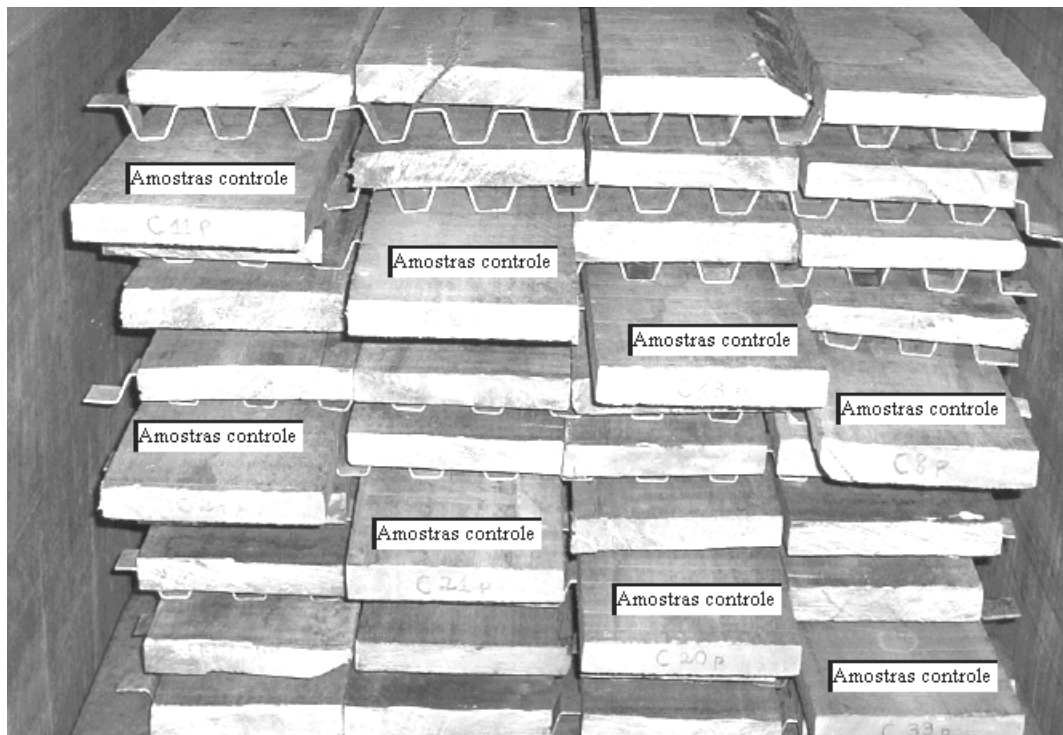


FIGURA 6: Disposição das amostras de controle do teor de umidade na carga da estufa.

### 3.7 Programas de secagem para as espécies estudadas

O programa de secagem que foi aplicado á carga de madeira durante o processo consiste em uma seqüência fixa de temperaturas e umidade relativa do ar. Para executar a secagem das três espécies de *Eucalyptus*, foi utilizado como base o programa apresentado no Tabela 1.

TABELA 1: Programa de secagem para madeira de *Eucalyptus* spp. com 25 mm de espessura.

UMIDADE -%-	TEMPO -h-	TEMPERATURA °C		UMIDADE RELATIVA -%-	UMIDADE DE EQUILÍBRIO -%-	POTENCIAL DE SECAGEM
		TBs	TBu			
AQUECIMENTO	-5-	45	44,5	97	23,3	-
25 - 20		50	41	57	9,0	2,5
20 - 15		55	43	48	7,0	2,5
15 - 12		60	41	31	5,0	2,5
CONDICIONAMENTO	-8-	60	55	76	12,0	1,0

### 3.8 Avaliação dos defeitos

Os defeitos resultantes do processo de secagem da madeira de eucalipto foram avaliados em três fases distintas:

FASE 1: logo após o desdobro

FASE 2: após a secagem ao ar livre, com a madeira apresentando um teor de umidade em torno de 25%.

FASE 3: após a secagem convencional, com a madeira a um teor de umidade de 12%.

Após a avaliação preliminar, comparou-se os valores obtidos com os valores apresentados na Norma para Classificação de Folhosas, do IBDF – Classificação pela Pior Face (Brasil, 1983), foram considerados os defeitos acima dos permitidos para a 4ª classe.

Os defeitos avaliados foram:

#### 3.8.1 Rachaduras

##### a) Rachaduras de topo

As rachaduras de topo foram avaliadas pela fórmula:

$$IRT = \frac{(l_2 + l_3 + \dots + l_n)}{Ll} \times 100$$

Onde:

IRT = índice representativo das rachaduras, %.

$l_2 + l_3 + \dots$  = comprimento individual das rachaduras, mm.

$Ll$  = comprimento total da peça, mm.

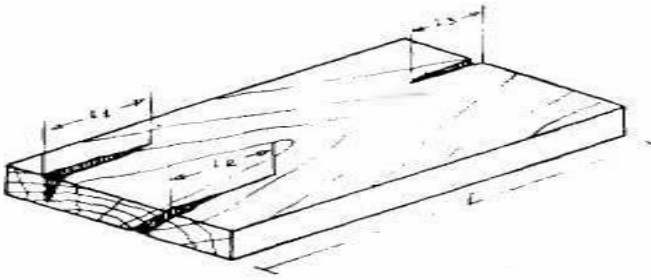


FIGURA 7: Rachaduras de topo

Para a classificação das rachaduras, foi utilizada a Norma do IBDF de Brasil (1983), levando em consideração os valores máximos permitidos para o IRT (Índice de Rachadura de Topo),  $IRT \leq 20\% L_1$ , sendo este índice o máximo permitido para madeira de 4ª classe.

#### b) Rachaduras de superfície

As rachaduras de superfície, que ocorreram nas tábuas, foram avaliadas visualmente nas três fases do processo, sendo quantificado o número de peças em que o defeito se fez presente e os resultados apresentados na forma de porcentagem do número de peças afetadas.

### 3.8.2 Empenamentos

Os empenamentos avaliados foram:

#### a) Arqueamento

$$A = f / L$$

Onde:

A = arqueamento, mm/m.

f = flecha de arqueamento da peça, mm.

L = comprimento da tábua, m.

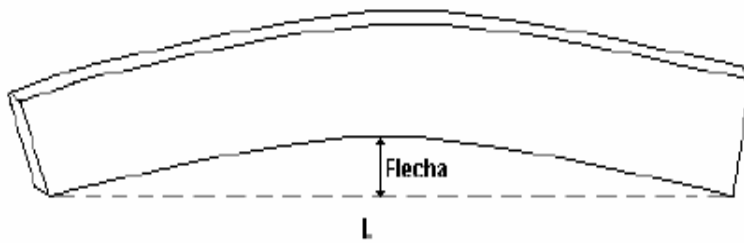


FIGURA 8: Procedimento adotado para medição do arqueamento das tábuas(Rocha, 2000).

Os valores permitidos pela Norma do IBDF de Brasil, (1983) para classificação do arqueamento para madeira de 4ª classe :  $A \leq 5 \text{ mm/m}$ , sem restrição quanto ao número de peças.

c) Encurvamento

$$E_v = f / L$$

Onde:

$E_v$  = encurvamento ou encanoamento, mm/m.

$f$  = flecha de encurvamento, mm.

$L$  = comprimento da peça, m.

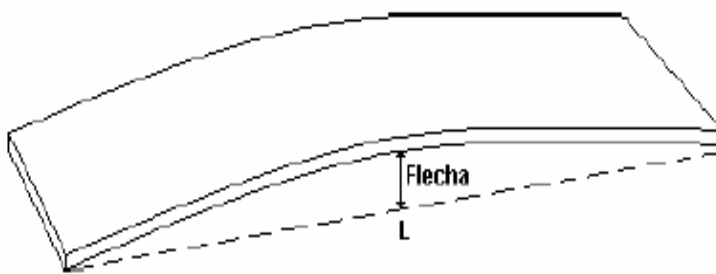


FIGURA 9: Procedimento adotado para medição do encurvamento das tábuas(Rocha, 2000).

Os valores permitidos pela Norma do IBDF de Brasil,(1983) para classificação do encurvamento para madeira de 4ª classe :  $E_v \leq 5 \text{ mm/m}$ , sem restrição quanto ao número de peças.

c) Encanoamento

O encanoamento foi medido conforme a figura 9, utilizando a mesma fórmula do encurvamento.



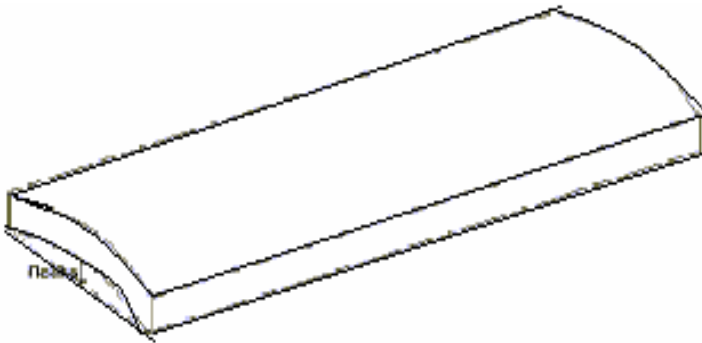


FIGURA 10: Procedimento adotado para medição do encaçamento das tábuas(Rocha, 2000).

### 3.8.3 Tensões de secagem

Rasmussen *apud* Mendes (1998) recomenda o seguinte procedimento para a avaliação das tensões de secagem: se, no momento da preparação do garfo, os dentes externos da amostra arquearem-se para fora a uma distância igual ou ligeiramente maior que a própria espessura do dente, a carga estará, provavelmente, livre de endurecimento, podendo ser retirada e processada. Porém, se estes dentes projetarem-se para dentro, apertando a serra, ou permanecerem retos, a carga estará com endurecimento superficial, necessitando do acondicionamento.

Após a exposição dos garfos ao ar, por um período de 16 a 24 horas, para a eliminação dos gradientes de umidade nos corpos-de-prova, procede-se a uma nova análise, denominada análise final.

As amostras foram retiradas de acordo com o esquema a seguir da Figura 11.

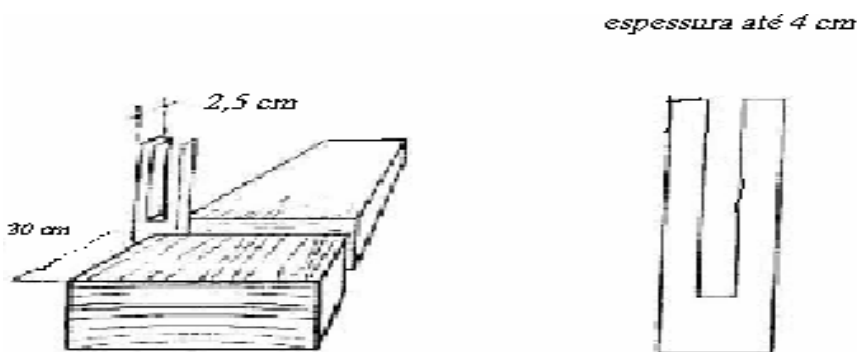


FIGURA 11: Confeção dos corpos de prova para a avaliação das tensões de secagem.

A análise de tensões residuais ou endurecimento superficial será avaliada pelo teste do garfo, seguindo os seguintes parâmetros como mostra a Figura 12.

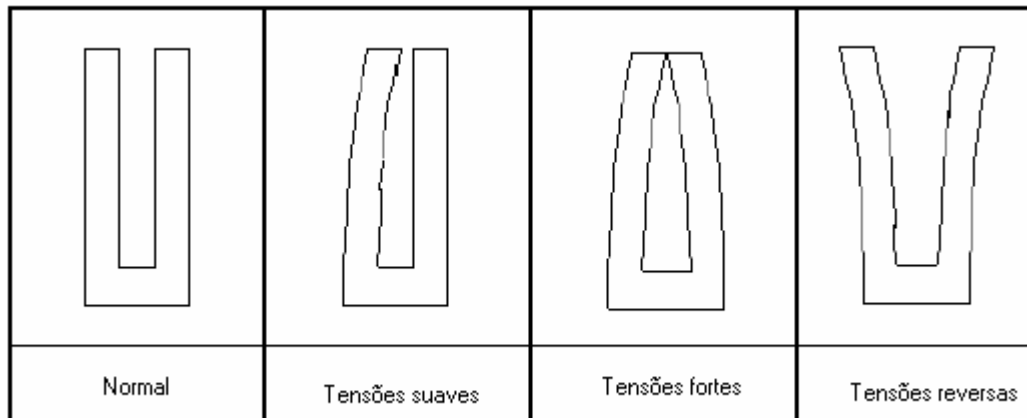


FIGURA 12: Avaliação das tensões de secagem.

#### 3.8.4 Colapso

A presença e intensidade do colapso foi determinada por meio da remoção de alguns milímetros da superfície da tábua com uma plaina, levando-se em consideração os seguintes critérios:

- ⇒ Madeira livre de colapso: após a remoção de 1–1,5 mm da superfície das tábuas, não apresentarem ondulações na superfície.
- ⇒ Madeira com colapso leve: após a remoção de 2,5 mm da superfície das tábuas, não apresentarem ondulações na superfície.
- ⇒ Madeira com colapso médio: após a remoção de 3,5 mm da superfície das tábuas, não apresentarem ondulações na superfície.
- ⇒ Madeira com colapso forte: tábuas que apresentarem ondulações na superfície depois de removidos 3,5 mm.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Tempo e curvas de secagem

A secagem combinada teve início com a secagem ao ar livre, que consistiu da secagem de seis cargas de madeira serrada equivalendo a 6 m<sup>3</sup>, divididos em dois períodos distintos do ano: Inverno e Verão. Assim que a madeira atingiu o teor de umidade desejado procedeu-se à secagem convencional.

O tempo de cada fase do processo de secagem combinada para cada uma das três espécies nas estações inverno e verão pode ser visto na Tabela 2.

TABELA 2: Tempo de secagem combinada em dias, para as espécies estudadas.

Métodos de Secagem	<i>E. citriodora</i>		<i>E. grandis</i>		<i>E. saligna</i>	
	Verão dias	Inverno dias	Verão dias	Inverno dias	Verão dias	Inverno dias
Ao ar livre	27,16(66,5%)	47,12(87,7%)	14,24(76%)	31,18(95,9%)	21,26(77,8%)	39,16(92,2%)
Convencional	13,70(33,5%)	6,62(12,3%)	4,45(24%)	1,34(4,1%)	6,07(22,2%)	3,29(7,8%)
Combinada	40,86	53,74	18,74	32,52	27,33	42,45

O tempo de secagem combinada para as três espécies foi menor no verão que no inverno, sendo que a secagem ao ar livre ocorreu mais rapidamente no verão em razão das temperaturas mais elevadas, maior velocidade do ar, menores índices de precipitação e menores umidades relativas. Deve-se salientar ainda que, do modo como as peças foram colocadas para secar ao ar livre, as pilhas bem espaçadas umas das outras, com uma altura do solo adequada, facilitando a circulação do ar entre as tábuas, o tempo de secagem ao ar livre foi muito satisfatório.

Jankowsky (1990) também cita que a madeira, quando adequadamente exposta ao ar livre, seca mais rapidamente quando a temperatura é alta, a umidade relativa do ar é baixa e o movimento do ar é ativo através das peças. A velocidade de secagem e o menor teor de umidade que pode ser atingido pela madeira em determinado local, dependem, quase que exclusivamente, das condições do tempo. A secagem ao ar não é um processo totalmente

controlado; todavia, é possível, através da adoção de procedimentos racionais, obter-se o máximo das condições do ambiente.

No verão, a secagem ao ar livre demorou 14,24 a 27,16 dias. Já no inverno, os períodos de secagem ao ar foram maiores, 37,42 a 47,12 dias para que a madeira atingisse os teores de umidade indicados para a finalização do processo. Para a secagem de *Eucalyptus grandis* ao ar livre, Silva *et al.* (1997) obteve madeira seca em 72 dias na cidade de Ubá – MG.

Para a secagem ao ar livre, Oliveira & Carvalho (2001) citam que o tempo de secagem pode variar de 3 a 6 meses e que depende da espécie em questão e das condições atmosféricas do local (temperatura, umidade relativa do ar, vento, entre outros).

A secagem combinada de *Eucalyptus citriodora* no verão, consistiu na secagem ao ar livre desde o teor de umidade de 54% até 27%: seguida da secagem convencional até 12%. A combinação totalizou um tempo de 40,86 dias sendo 27,16 dias para a secagem ao ar livre e 13,76 dias para a secagem convencional. No inverno, o tempo da secagem combinada foi 31,5% maior, do que no verão, sendo que a secagem ao ar livre, com um tempo 73,5% maior, foi a principal responsável pela diferença.

No inverno, para *Eucalyptus citriodora* a secagem combinada durou 53,74 dias, sendo que a secagem ao ar livre foi a que mais durou; 47,12 dias, já a secagem convencional teve uma duração de 6,62 dias. A secagem teve início ao ar livre com um teor de umidade de 60 até 25% onde se prosseguiu a secagem convencional até 12%.

Essa diferença de tempo entre o verão e inverno resultou em um maior número de peças afetadas por rachaduras de topo no verão provavelmente em consequência do surgimento nessa estação de gradientes de umidades mais severos. Na Figura 13, pode-se observar a duração da secagem combinada para a espécie *Eucalyptus citriodora* nas duas estações.

Em *Eucalyptus grandis* no verão, a secagem combinada consistiu na secagem ao ar livre desde um teor de umidade de 80 até 23%, em seguida foi realizada a secagem convencional até 12% de umidade. O tempo de secagem combinada para *Eucalyptus grandis*, no verão, foi o menor comparando com as demais espécies, esta espécie demorou 18,74 dias, para alcançar o teor de umidade de 12% sendo conferidos 14,24 e 4,5 dias para a secagem ao ar livre e convencional respectivamente.

No inverno, para a madeira de *Eucalyptus grandis*, a secagem combinada consistiu da secagem ao ar livre desde um teor de umidade de 77 até 24%, em seguida, procedeu-se à secagem convencional até 12% de umidade. O tempo total de secagem combinada foi de 32,52 dias, para a secagem ao ar livre, foram 31,18 dias e 1,34 dias para a secagem convencional, sendo essa a espécie que em menos tempo de secagem artificial atingiu os valores desejados de teor de umidade. Na Figura 13 e 14, pode-se observar a duração da secagem combinada para as espécies *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus grandis*, respectivamente, nas duas estações.

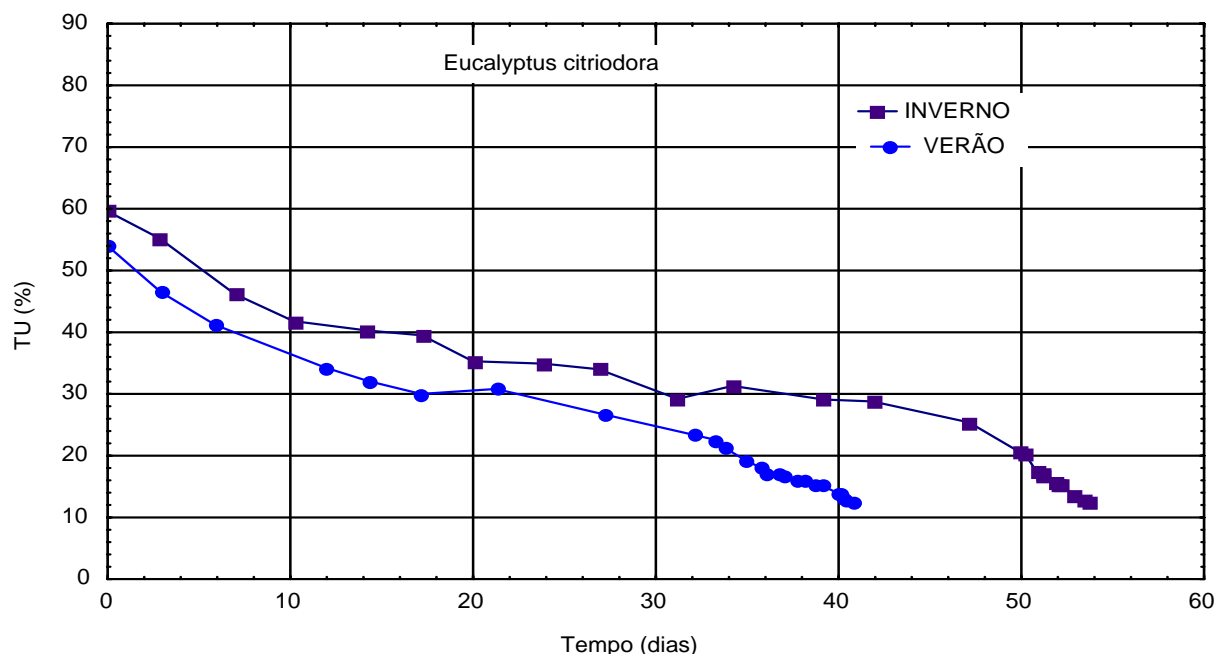


FIGURA 13: Curvas de secagem combinada de *Eucalyptus citriodora* nas estações do inverno e verão.

Utilizando uma secagem combinada (pré-secagem ao ar até o PSF, associada à secagem convencional até a umidade desejada), Cinglio, (1998) obteve, para *Eucalyptus grandis* (15 + 7) 22 dias de processo e (19 + 8) 27 dias para *Eucalyptus urophylla*.

Já para *Eucalyptus saligna* no verão, a secagem combinada consistiu na secagem ao ar livre desde um teor de umidade de 64 até 25%, em seguida, procedeu-se a secagem convencional até 12%. A secagem combinada durou 27,33 dias, sendo que a secagem ao ar livre durou 21,26 dias e a convencional 6,07 dias.

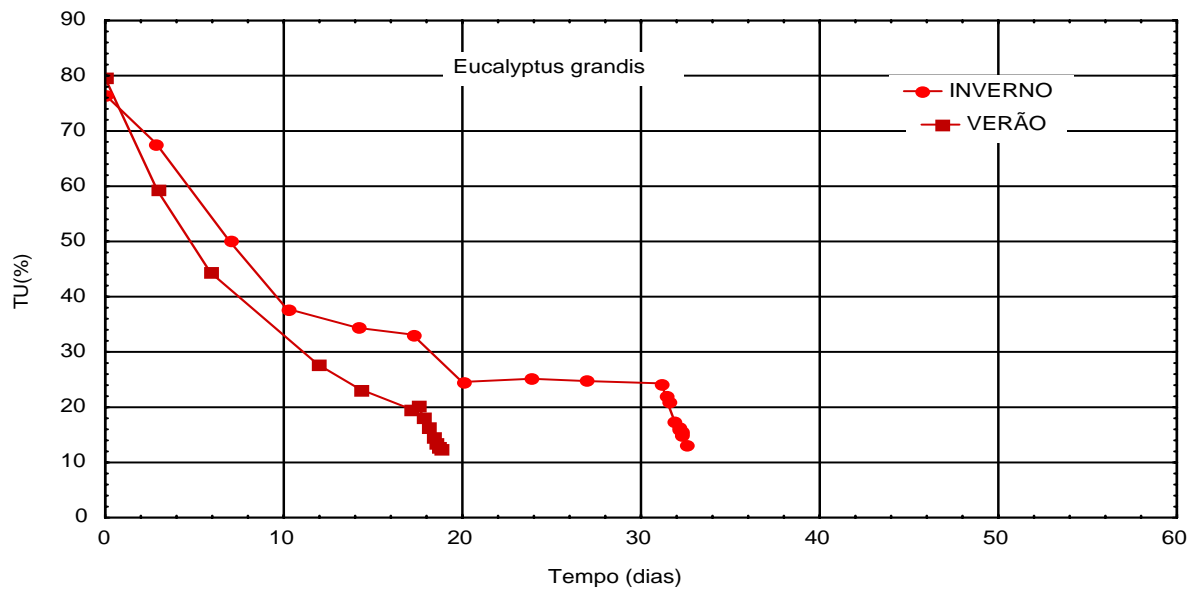


FIGURA 14: Curvas de secagem combinada de *Eucalyptus grandis* nas estações do inverno e verão.

No inverno, a secagem combinada de *Eucalyptus saligna* teve início com a secagem ao ar livre com um teor de umidade de 85 até 24%, procedendo-se à secagem convencional em seguida. A secagem combinada durou 42,45 dias sendo que a secagem ao ar livre durou 39,16 dias, a secagem convencional durou 3,29 dias.

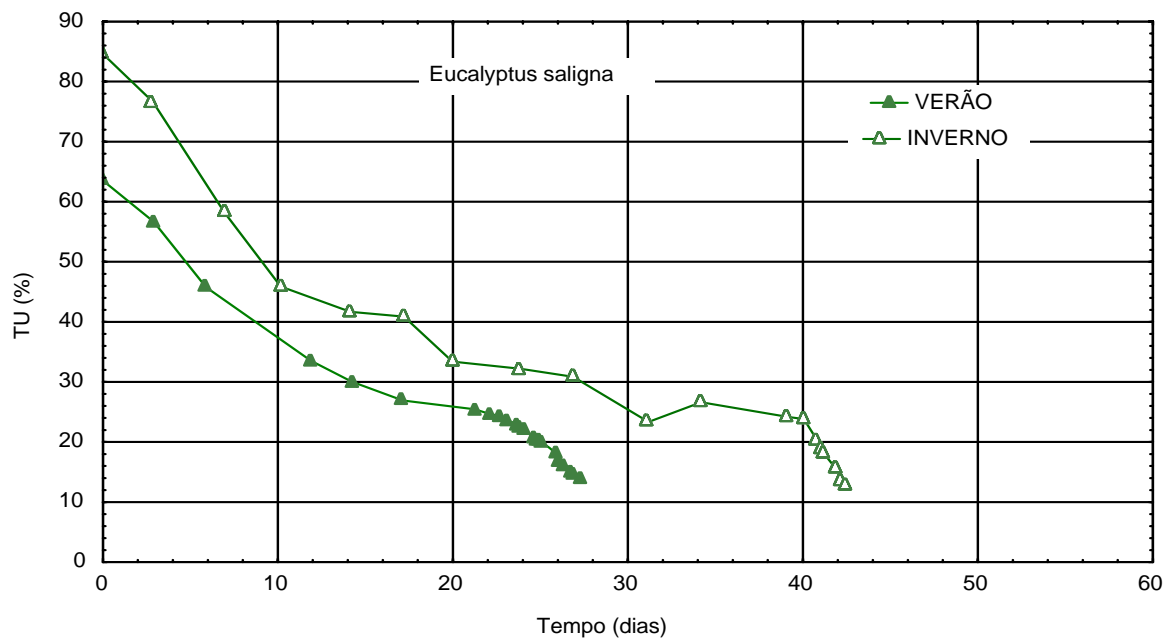


FIGURA 15: Curvas de secagem combinada de *Eucalyptus saligna* nas estações do inverno e verão.

Na Figura 15, pode-se observar a duração da secagem combinada para a espécie *Eucalyptus saligna* nas duas estações.

Valores superiores foram encontrados por Santos (2002) secando *Eucalyptus grandis* em secagem combinada levou um tempo de 92 dias (77 dias de pré-secagem e 15 dias em secagem convencional). Neuman *apud* Severo (2000) comenta que é possível secar madeira de *Eucalyptus globulus* com 30 mm de espessura por meio de um sistema misto de pré-secagem e secagem á alta temperatura. Nesse caso, o tempo de secagem é de aproximadamente 35 dias para secar desde 70 até 21% a uma temperatura inicial de 22,5°C e final de 35°C. Já para secar de 21 até 10%, com uma temperatura de 110°C, o tempo de secagem foi de 20 horas.

As curvas de secagem ilustram graficamente a perda de umidade da madeira em função do tempo. As curvas de secagem das estações estudadas, observadas para as três espécies, são apresentadas nas Figuras 16 e 17.

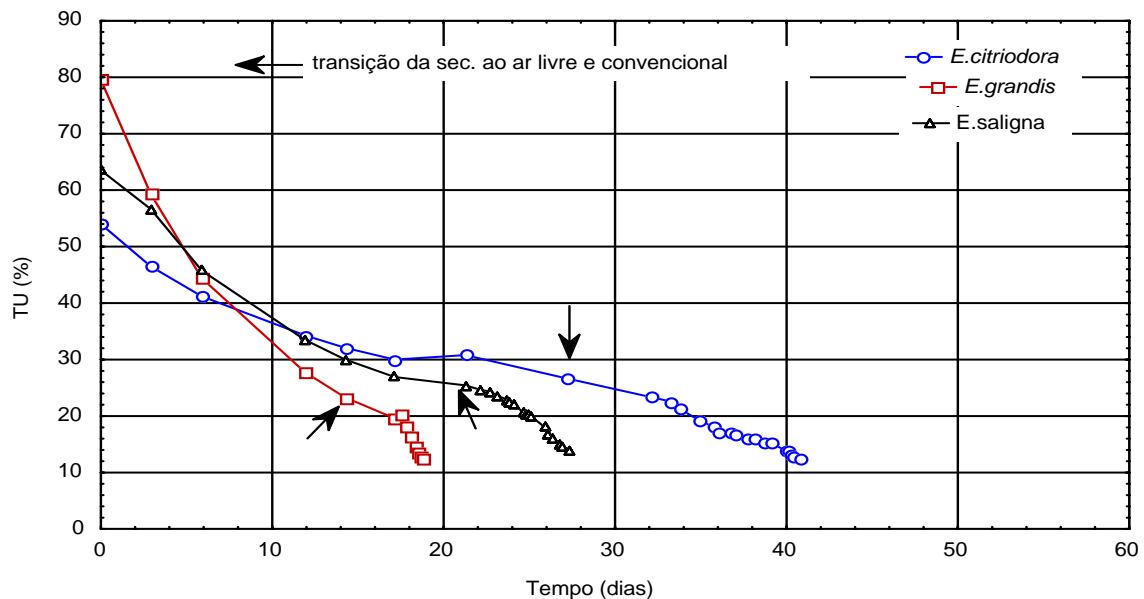


FIGURA 16: Curvas de secagem combinada para as três espécies no verão.

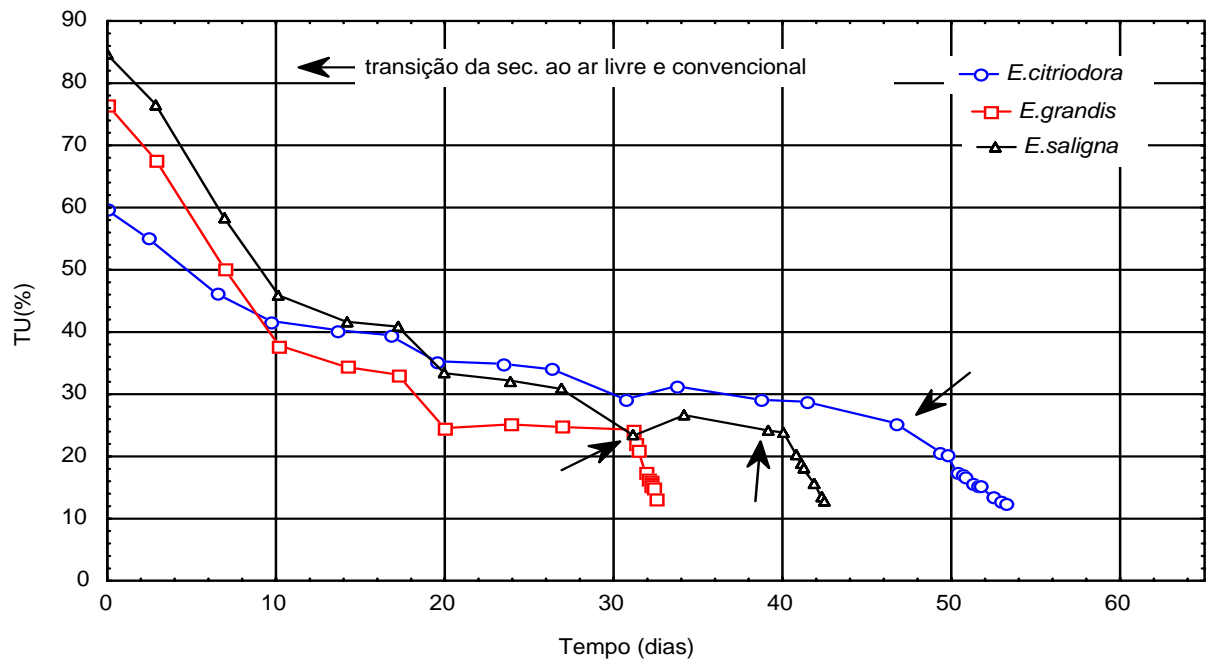


FIGURA 17: Curvas de secagem combinada para as três espécies no inverno.

Nos Anexos 1 a 6, podem ser observados os melhores modelos que descrevem o comportamento da secagem combinada das três espécies nas duas estações do ano em que foram feitas as avaliações, bem como o melhor modelo para a secagem ao ar livre e convencional de cada espécie no inverno e no verão.

Tanto para a secagem combinada como para a secagem ao ar livre e convencional, foram encontrados valores significativos para a análise de regressão. Os valores do coeficiente de determinação, como pode ser observado nos Anexos 1 a 6, demonstram um bom ajuste das equações aos dados observados. Os valores de F calculado também foram altos, variando de 132,31 a 2780,69, confirmando a significância da regressão.

Para a condução da secagem convencional no presente trabalho as temperaturas iniciais de bulbo seco e bulbo úmido foram respectivamente, 50°C e 41°C o que corresponde a uma UR% de 97%. É consenso entre todos os estudiosos de secagem que o eucalipto é uma madeira que deve ser seca a baixas temperaturas e elevadas umidades relativas, principalmente nas fases iniciais, onde os teores de umidade são elevados (Rocha, 2000).

Também concordando com um programa ameno para a secagem de eucalipto, Ciniglio (1998) sugere um programa de secagem com temperatura inicial de bulbo seco de 40°C, baixas diferenças higrométricas (TS-TU) e alta umidade relativa até o ponto de saturação das fibras, aproximadamente 28% de umidade. A partir deste ponto a combinação de temperaturas



de bulbo seco e úmido passam a ser maiores, acelerando o processo de secagem, até atingir a temperatura final de bulbo seco de 65°C.

Examinando mais detalhadamente o processo de secagem combinada, se chega a conclusão de que as condições climáticas de cada local são muito importantes na redução do tempo de secagem ao ar livre. Associada, é claro, com a colocação correta das peças no pátio de secagem e que este satisfaça todos os pré-requisitos para que a secagem ao ar livre ocorra da melhor forma possível.

Por se tratar de um método de secagem combinada, os resultados obtidos quanto o tempo gasto no processo são satisfatórios, salientando-se que as condições climáticas do sul do Brasil (RS), são menos favoráveis à secagem ao ar livre. Porém os resultados obtidos mostram que a secagem ao ar livre, quando executada de modo correto, pode fornecer resultados muito satisfatórios quanto ao tempo de secagem e teor de umidade final e também quanto à qualidade do material.

Na secagem ao ar livre de 25 espécies do gênero *Eucalyptus*, Mendes *et al.* (1998a) concluíram que, em relação aos parâmetros de qualidade empenamentos e rachaduras, é possível se obter madeira serrada desse gênero com qualidade satisfatória exigida pelo setor moveleiro, desde que se tenha um desenvolvimento e acompanhamento rígido das condições de secagem, bem como técnicas de empilhamento.

A secagem combinada, quando comparada com a secagem convencional, reduz o tempo de secagem e a incidência de defeitos o que leva a um custo total reduzido de secagem.

#### **4.2 Influência das variáveis climáticas**

Os dados referentes temperatura, umidade relativa (UR%), velocidade do vento, umidade de equilíbrio e precipitação para o período de secagem ao ar livre, foram fornecidos pela Estação Climatológica do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria. Os valores médios observados no período do experimento são apresentados na Figura 18.

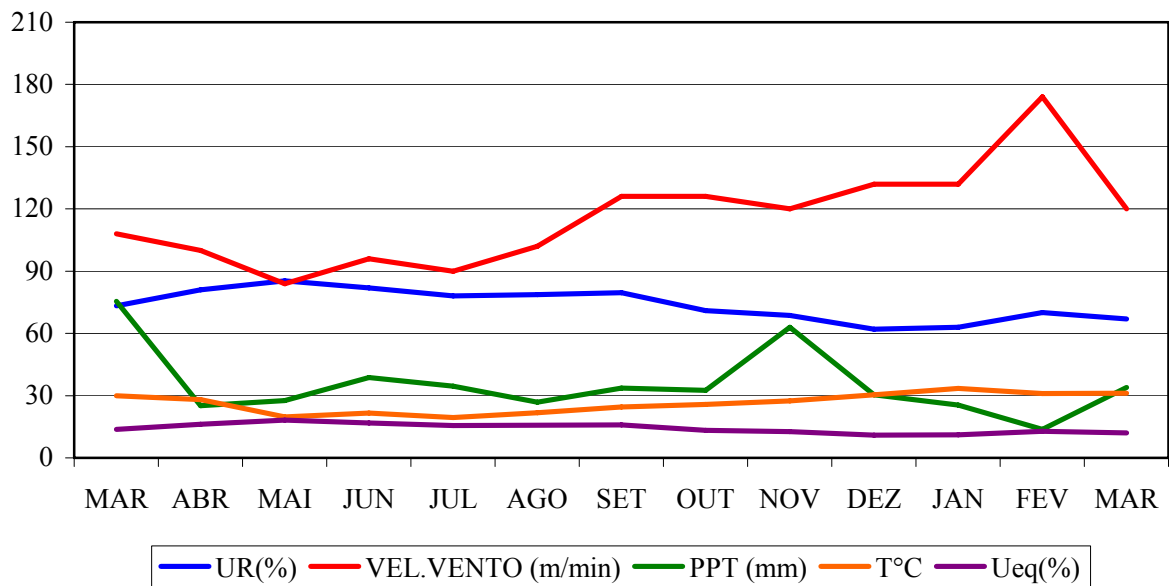


FIGURA 18: Variáveis climáticas obtidas no período de coleta de dados ( UR = Umidade Relativa; PPT = Precipitação; VEL. VENTO = Velocidade do vento; T°C = Temperatura; Ueq. = Umidade de equilíbrio).

Nas duas estações do ano onde foram coletados os dados, observou-se que as variáveis climáticas obtidas nos períodos do inverno e verão, influenciaram na velocidade da secagem ao ar livre, fazendo com que no verão as três espécies secassem mais rápido do que no inverno. Os fatores que contribuíram para a secagem ser mais rápida no verão foram elevadas velocidades do ar, as baixas umidades relativas e as altas temperaturas. Estes fatores também contribuíram para uma maior taxa de secagem durante a exposição das tábuas ao ar livre no período do verão.

### 4.3 Taxa de Secagem

Expressando a porcentagem de água que evapora por dia, a taxa de secagem, como citam vários autores, depende também da estrutura anatômica e das propriedades físicas da madeira. Associado a isso a taxa de secagem ao ar livre depende fundamentalmente das condições ambientais, não sendo possível controlar os fatores que afetam a taxa de secagem.

Considerando o fato de que as condições ambientais (UR%, Temp., PPT,...) são fatores decisivos na taxa de secagem, foram observados valores positivos de taxa de secagem sob condições de secagem favoráveis e taxas negativas de secagem nos períodos desfavoráveis devido à precipitação ou altas umidades do ar. As maiores taxas de secagem foram encontradas no verão para todas as espécies no método de cálculo da taxa de secagem elaborado por Santini (1980).

Os valores de taxa de secagem, calculados pela fórmula citada por Santini (1980), para as três espécies nas duas estações estudadas estão apresentadas abaixo na Figura 19.

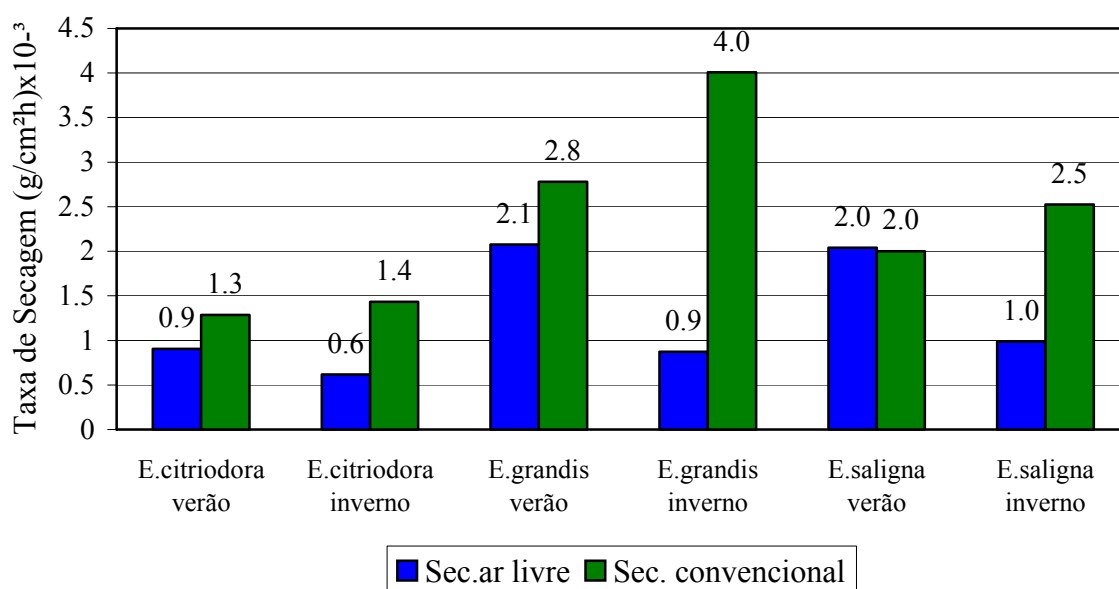


FIGURA 19: Valores estimados para a taxa de secagem para as espécies estudadas em função da estação do ano e do método de secagem.

A Figura 19 mostra que dentre as espécies estudadas o *Eucalyptus grandis* apresenta as maiores taxa média de secagem tanto no inverno como no verão, por ocasião da secagem ao ar livre e convencional. Provavelmente, as características da madeira como boa permeabilidade e baixa massa específica podem explicar a facilidade de secagem da espécie. Em segundo lugar vem o *Eucalyptus saligna* seguido do *Eucalyptus citriodora*, que é uma madeira mais densa e menos permeável.

Na Análise de regressão para *Eucalyptus citriodora* no verão e no inverno, apenas a secagem ao ar livre apresentou resultados significativos, a um nível de 5% de probabilidade de erro, com um coeficiente de determinação ajustado de 99,13 e 43,79 respectivamente. Para

a secagem convencional e combinada nas duas estações, os valores não foram significativos, estes valores podem ser observados nas Tabelas 3 e 4.

TABELA 3: Equações ajustadas para a taxa de secagem de *Eucalyptus citriodora* no verão em função do tempo decorrido (dias).

Equação	F	S <sub>yx</sub>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	P
Taxa de secagem ao ar livre Log(TS) = 1,04137 – 0,845613*tempo	457,35*	0,0267	99,13	0,0002
Taxa de secagem convencional (TS) <sup>2</sup> = -37,3085 + 1,14416*tempo	1,14	8,31453	0,8067	0,3019

F = teste de F; R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa y; P = nível de probabilidade de erro.

\* = significativo a 5% de probabilidade de erro

TABELA 4: Equações ajustadas para a taxa de secagem de *Eucalyptus citriodora* no inverno em função do tempo decorrido (dias).

Equação	F	S <sub>yx</sub>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	P
Taxa de secagem ao ar livre TS = 2,22578 – 0,553638*log (tempo)	10,35*	0,406075	43,79	0,0082
Taxa de secagem convencional TS = 1,73601 + 0,0*Exp (tempo)	0,62	0,738112	0,0	0,4513

F = teste de F; R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa y; P = nível de probabilidade de erro.

\* = significativo a 5% de probabilidade de erro

Para *Eucalyptus grandis* nas duas estações do ano, os resultados da Análise de regressão não foram significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro, dados esses que podem ser observados nas Tabelas 5 e 6 a seguir.

TABELA 5: Equações ajustadas para a taxa de secagem de *Eucalyptus grandis* no verão em função do tempo decorrido (dias).

Equação	F	S <sub>yx</sub>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	P
Taxa de secagem ao ar livre TS = 5,71506 – 1,6767*log (tempo)	948,21	0,0294616	99,78	0,0207
Taxa de secagem convencional Log(TS) = -3,96475 + 0,274698*tempo	5,91	0,311067	41,2457	0,0510

F = teste de F; R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa y; P = nível de probabilidade de erro.

TABELA 6: Equações ajustadas para a taxa de secagem de *Eucalyptus grandis* no inverno em função do tempo decorrido (dias).

Equação	F	S <sub>yx</sub>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	P
Taxa de secagem ao ar livre Log(ts) = 1,33708 – 0,123952*tempo	6,83	0,699276	49,2643	0,0475
Taxa de secagem convencional Log(ts) = - 44,9182 + 1,43442*tempo	2,19	0,825883	11,6377	0,1776

F = teste de F; R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa y; P = nível de probabilidade de erro.

Em *Eucalyptus saligna*, nas duas estações também não foram encontrados valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro na Análise de regressão, os dados podem ser observados nas Tabelas 7 e 8 a seguir.

TABELA 7: Equações ajustadas para a taxa de secagem de *Eucalyptus saligna* no verão em função do tempo decorrido (dias).

Equação	F	S <sub>yx</sub>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	P
Taxa de secagem ao ar livre TS = 4,03468 – 0,786756*log (tempo)	3,29	0,758285	14,0326	0,0931
Taxa de secagem convencional TS = 3,42403 + 0,0*exp (tempo)	0,98	1,83995	0,0	0,3678

F = teste de F; R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa y; P = nível de probabilidade de erro.

TABELA 8: Equações ajustadas para a taxa de secagem de *Eucalyptus saligna* no inverno em função do tempo decorrido (dias).

Equação	F	S <sub>yx</sub>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	P
Taxa de secagem ao ar livre TS = 3,72212 – 0,978576*log (tempo)	6,58	0,7431	38,2594	0,0334
Taxa de secagem convencional Log(TS) = - 32,4696 + 0,798735*tempo	7,73	0,6089	45,7051	0,0273

F = teste de F; R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa y; P = nível de probabilidade de erro

Para *Eucalyptus citriodora* a taxa média de secagem ao ar livre no verão foi de 0,9 (g/cm<sup>2</sup>h)10<sup>-3</sup>, na secagem convencional, 1,3 (g/cm<sup>2</sup>h)10<sup>-3</sup>. Para a mesma espécie no inverno,

os valores atingiram  $0,6 \text{ (g/cm}^2\text{h)}10^{-3}$  e  $1,4 \text{ (g/cm}^2\text{h)}10^{-3}$ , respectivamente, para os métodos de secagem ao ar livre e convencional.

Os valores referentes à taxa de secagem média encontrados para a madeira de *Eucalyptus grandis* no verão, foram  $2,1 \text{ (g/cm}^2\text{h)}10^{-3}$ , já na secagem convencional a taxa de secagem foi de  $2,8 \text{ (g/cm}^2\text{h)}10^{-3}$ . No inverno a taxa de secagem média da madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou  $0,9 \text{ (g/cm}^2\text{h)}10^{-3}$  durante a secagem ao ar livre, para a secagem convencional a taxa foi de  $4,0 \text{ (g/cm}^2\text{h)}10^{-3}$ .

Já com relação a madeira de *Eucalyptus saligna* no verão, para secagem ao ar livre a taxa de secagem média foi de  $2,0 \text{ (g/cm}^2\text{h)}10^{-3}$ , para a secagem convencional  $2,0 \text{ (g/cm}^2\text{h)}10^{-3}$ . No inverno para a mesma espécie os valores médios para a taxa de secagem foram  $1,0 \text{ (g/cm}^2\text{h)}10^{-3}$  e  $2,5 \text{ (g/cm}^2\text{h)}10^{-3}$ .

Segundo Rozas & Tomaselli (1993), a madeira de *Eucalyptus viminalis* apresentou um tempo de secagem de, aproximadamente, 21 dias para secar de 50,5 até 9% de umidade final, o que corresponde a uma taxa de secagem de, aproximadamente, 2%/dia.

Estudos conduzidos por Rozas (1993), com madeira de *Eucalyptus grandis*, de 30 mm de espessura, mostram que, para secar essa espécie de 97,6 até 7,6% de umidade final, levou aproximadamente 26 dias o que corresponde a uma taxa de secagem de, aproximadamente, 3,5%/dia.

Utilizando três programas de secagem, para a madeira de *Eucalyptus dunnii*, Severo (2000) encontrou uma taxa de secagem 9%/dia, 12,8%/dia e 20,2%/dia respectivamente. As temperaturas iniciais utilizadas para os programas foram abaixo de 45°C até a madeira atingir o ponto de saturação das fibras, o segundo com temperatura inicial abaixo de 50°C até o ponto de saturação das fibras e o terceiro com temperaturas abaixo de 60°C até o PSF.

Na secagem convencional de madeira, Andrade (2000) encontrou uma taxa de secagem, de 17,71%/dia para freijó, 1,45%/dia para imbuia, 2,37%/dia para jutai-cica e 17,71%/dia para peroba-mica.

Santos *et al.* (2003) encontrou, na faixa de umidade capilar, a taxa média de secagem de 1,44 g/h, decrescendo para uma taxa média de 0,31g/h quando da retirada da água higroscópica para *Eucalyptus grandis* em secagem convencional utilizando temperatura constante de 35°C, umidade de equilíbrio de 14% e velocidade do ar de 1,2 m/s. Para secagem da madeira de *Eucalyptus viminalis*, utilizando secagem convencional com vaporização inicial, Rozas & Tomaselli (1993) encontraram 2,57%/ dia.

#### 4.4 Qualidade da madeira

A avaliação da qualidade da madeira foi realizada em todas as peças submetidas ao processo de secagem. As peças foram numeradas, identificadas e qualificadas/quantificadas quanto aos tipos de defeitos presentes nas três fases de avaliação do processo.

Os principais defeitos avaliados foram rachaduras de topo e de superfície e os empenamentos, como arqueamento, encurvamento e encanoamento. Esses defeitos foram avaliados logo após o desdobro e, após cada processo de secagem. Para se analisar o efeito da redução do teor de umidade nas peças, foram levados em consideração parâmetros estabelecidos na metodologia.

A avaliação dos defeitos foi executada com base na Norma para classificação de folhosas do IBDF (1983), Classificação pela Pior Face, onde foram considerados os defeitos referentes às tábuas de 4ª classe.

De maneira geral, cada peça de madeira tem características distintas e reage também distintamente após passar pelo processo de secagem. Campbell & Hartley (1978), *apud* Ciniglio (1998), relatam que as características da secagem, em relação ao comportamento e defeitos na madeira, podem variar de acordo com a espécie, maturidade da árvore, posição da árvore, a espessura, largura e direção do corte da madeira, bem como fatores ambientais, genéticos, de sítio, climáticos e de latitude.

##### 4.3.1 Rachaduras

###### Rachaduras de topo

Os valores para rachaduras de topo estão apresentados na Tabela 9 e foram calculados como descrito na metodologia e estão apresentados como valores dos Índices de rachaduras de topo (IRT%) nas três fases de avaliação para *Eucalyptus citriodora*, *Euvalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* na secagem combinada. Os valores médios de IRT, encontrados na madeira de *Eucalyptus citriodora* em relação à estação do ano e fase de avaliação em que

foram feitas as medições, foram significativas ao nível de 5% de probabilidade de erro na análise de variância (ANEXO 7). Os resultados do teste de médias, para as rachaduras de topo para *Eucalyptus citriodora* em função da estação do ano, podem ser vistos no ANEXO 8.

*Eucalyptus citriodora* apresentou o IRT acima dos valores permitidos pela norma na classificação para 4ª classe (Brasil, 1983), com os seguintes valores; 9,38% antes da secagem ao ar livre (fase 1), 18,75% após a secagem ao ar livre (fase 2), 21,33% após a secagem convencional (fase 3) no verão. No inverno, 3,13% das peças apresentaram IRT acima dos valores permitidos pela norma, e esse índice se manteve até o final do processo de secagem combinada como pode ser visto na Tabela 9.

Os valores médios de IRT%, obtidos para a madeira de *Eucalyptus grandis* em relação à estação do ano e fase de avaliação em que foram feitas as avaliações, foram significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro, como demonstrados na Análise de variância (ANEXO 9). Os resultados do teste de médias, para as rachaduras de topo para *Eucalyptus grandis*, em função da estação do ano, podem ser vistos no ANEXO 10.

No verão, a madeira de *Eucalyptus grandis* não apresentou peças com defeitos acima dos permitidos pela norma Brasil (1983). Já no inverno, 6,25% das peças apresentaram defeitos superiores aos permitidos pela norma, antes da secagem ao ar livre e permanecendo com o mesmo índice após a mesma e apresentando 18,75% das peças com defeito após a secagem convencional (TABELA 9). Os valores máximos de IRT% foram de 28,9% antes da secagem ao ar livre (fase 1), subindo para 43,2% após a mesma (fase 2) e regredindo para 26,3% após a secagem convencional (fase 3).

Para a madeira de *Eucalyptus saligna*, os valores médios para IRT%, quanto à fase de avaliação e estação do ano em que foi realizada a secagem, apresentaram valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro na Análise de variância (ANEXO 11). E os valores médios, encontrados para as rachaduras de topo em cada fase, podem ser observados no teste de médias no Anexo 12.



TABELA 9: Índices de rachadura de topo para as madeiras de *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* nas duas estações do ano.

VARIÁVEIS	FASE 1			FASE 2			FASE 3		
	IRT médio (%)	IRT máx (%)	% de peças com defeito *	IRT médio (%)	IRT máx (%)	% de peças com defeito *	IRT médio (%)	IRT máx (%)	% de peças com defeito *
<i>E. citriodora</i>									
VERÃO	5,30	52,8	9,38	8,20	37,2	18,75	14,83	80,9	21,88
INVERNO	0,84	27,16	3,13	2,46	23,21	3,13	2,9	24,75	3,13
<i>E. grandis</i>									
VERÃO	0,31	5,34	0	1,60	14,8	0	1,70	14,53	0
INVERNO	4,68	28,9	6,25	6,6	43,2	6,25	10,63	26,3	18,75
<i>E. saligna</i>									
VERÃO	1,9	13,2	0	7,43	22,9	6,25	6,50	20,7	3,12
INVERNO	3,10	33,8	9,38	5,05	40,4	9,38	4,60	39,6	9,38

\* = % de peças que possuem defeitos abaixo do permitido pela norma ( $\leq 20\%$  do comprimento da tábua). IRT% = índice de rachadura de topo em porcentagem; FASE 1: logo após o desdobro; FASE 2: após a secagem ao ar livre, com a madeira apresentando um teor de umidade em torno de 30%; FASE 3: após a secagem convencional, com a madeira a um teor de umidade de 12%.

Para a madeira de *Eucalyptus saligna*, foram encontrados valores de IRT% constantes de 9,38% das peças afetadas no inverno após cada fase de avaliação, apresentando um IRT máximo de 33,8% após a secagem ao ar livre (fase 1) e subindo para 40,4% após a mesma (fase 2), e após a secagem convencional (fase 3) o IRT regredindo para 39,6%. No verão, foram encontradas rachaduras de topo acima do permitido pela norma ( $\geq 20\%$  do comprimento da peça), na segunda fase de avaliação, 6,25% das peças afetadas, este valor regrediu após a secagem convencional para 3,12%.

Esse defeito ocorre porque a madeira apresenta a característica de perder água mais rapidamente pelo sentido axial do que pelo sentido radial e tangencial, fazendo com que os topos sequem mais rápido.

Os valores encontrados são inferiores aos encontrados por Rocha (2000) que, utilizando *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis* utilizou uma vaporização para minimizar a intensidade das tensões de crescimento antes do desdobro tangencial; após o desdobro, as tábuas avaliadas apresentaram 84,22 e 93,68% de peças com rachaduras de topo. Em seguida,

procedeu-se a uma pré-secagem por 15 dias seguida de secagem convencional, que resultou em 88,89 e 93,89% de peças com rachaduras de topo.

Também utilizando secagem combinada, Santos (2002) observou a alta tendência da madeira ainda úmida apresentar rachaduras de topo classificadas como fortes, 58,1% das peças na condição verde, 67,34% após a secagem ao ar livre e regredindo um pouco após a secagem convencional, 61,9%.

Valores inferiores, aos encontrados no inverno para a presente pesquisa, foram encontrados por Silva *et al.* (1997) secando ao ar livre *Eucalyptus grandis* para a produção de móveis até um valor de 14,71%, encontraram 10,87% das tábuas com defeitos antes da secagem e 11,59% após a secagem.

Severo (2000) observou 10% de rachaduras, utilizando um programa, no qual se manteve a temperatura inicial de secagem abaixo de 45% até o PSF. Rozas (1993), também encontrou 5,6% de rachaduras de topo na secagem de *Eucalyptus viminalis*.

Quanto ao índice de rachamento obtido após a secagem, Miranda & Nahuz (1999) citam que esses defeitos não são apenas tensões de secagem, refletem a ação residual das tensões de crescimento até o PSF.

Estudando o comportamento da madeira de *Eucalyptus grandis*, Vermaas & Neville *apud* Ciniglio (1998), concluíram que, em razão das árvores possuírem crescimento extremamente rápido, caracterizam-se por possuírem altos níveis de tensões de crescimento, mostrando resultados marcantes em termos de rachaduras durante o desdobro principalmente após a secagem.

Outro aspecto que se deve salientar é o citado por Jankowsky (2004), afirmando que as rachaduras aparecem como consequência da diferença de retração nas direções tangencial e radial da madeira e de diferenças de umidade entre regiões contíguas de uma peça, durante o processo de secagem. Essas diferenças levam ao aparecimento de tensões que, tornando-se superiores à resistência dos tecidos lenhosos, provocam a ruptura da madeira.

Observando os resultados encontrados em cada fase de avaliação, pode-se dizer que, conforme a madeira vai perdendo umidade, ocorre um aumento na incidência das rachaduras de topo no que se refere a madeira de *Eucalyptus citriodora* seca no verão e *Eucalyptus grandis*, quando seca no inverno. Já para a madeira *Eucalyptus citriodora* no inverno, *Eucalyptus grandis* no verão e *Eucalyptus saligna* no inverno, os valores mantiveram-se constantes quanto aos IRT.

### Rachaduras de superfície

Na Tabela 10, estão apresentados os valores em porcentagem das peças afetadas pelas Rachaduras de superfície (RS) nas três fases de avaliação para *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* na secagem combinada.

As rachaduras de superfície foram classificadas como presentes e ausentes nas peças de forma a representar em porcentagem do número de peças afetadas.

TABELA 10: Porcentagem de peças afetadas por rachaduras superficiais em cada fase da secagem combinada de *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*.

TRATAMENTO	FASE 1	FASE 2	FASE 3
	% de peças com RS	% de peças com RS	% de peças com RS
<i>E. citriodora</i>			
VERÃO	25	46,88	78,13
INVERNO	0	6,25	34,38
<i>E. grandis</i>			
VERÃO	0	6,25	15,63
INVERNO	0	9,38	3,13
<i>E. saligna</i>			
VERÃO	0	34,38	46,88
INVERNO	0	12,50	34,38

RS = rachadura de superfície. FASE 1: logo após o desdobro; FASE 2: após a secagem ao ar livre, com a madeira apresentando um teor de umidade em torno de 30%; FASE 3: após a secagem convencional, com a madeira a um teor de umidade de 12%.

Quanto à incidência de rachaduras de superfície, as espécies *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* foram as que mais apresentaram peças com defeito. Isso pode ser observado desde o final da secagem ao ar livre tendo sua porcentagem de peças afetadas aumentada após o final do processo de secagem combinada (TABELA 10).

Quanto às suas características, as rachaduras de superfície mostraram-se bem superficiais na madeira de *Eucalyptus citriodora* nas duas estações, não afetando a qualidade da madeira após a secagem. *Eucalyptus citriodora*, no verão, apresentou a maior quantidade de peças afetadas. Mesmo na primeira fase de avaliação foram encontrados 25%, após a secagem ao ar livre (fase 2), 46,88% das peças e 78,13% das peças afetadas após a secagem combinada (fase 3). Em contraposição que para a madeira de *Eucalyptus citriodora*, no inverno na primeira fase de avaliação, não foram encontradas rachaduras de superfície; após a

secagem ao ar livre (fase 2), foram encontrados 6,25% e após a secagem convencional, foram encontradas 34,38% das peças com rachaduras superficiais.

Na madeira de *Eucalyptus grandis*, foram encontradas as menores porcentagens de peças afetadas pelas rachaduras de superfície; no verão, 6,25% das peças após a secagem ao ar livre e 15,63% após a secagem convencional. Logo, no inverno, *Eucalyptus grandis* apresentou 9,38% das peças afetadas após a secagem ao ar livre (fase 2) e esses valores regrediram após a secagem convencional (fase 3) para 3,13% das peças afetadas.

Quanto à madeira de *Eucalyptus saligna*, as rachaduras de superfície, quando presentes, foram mais profundas quando comparadas com as demais espécies. No verão, a madeira de *Eucalyptus saligna* apresentou, após a secagem ao ar livre (fase 2), 34,38% das peças com rachadura de superfície e 46,88% após a secagem convencional (fase 3). Enquanto que, no inverno, a madeira de *Eucalyptus saligna* após a secagem ao ar livre (fase 2) apresentou 12,50% e, após a secagem convencional (fase 3), 34,38% das peças com rachaduras de superfície.

Valores semelhantes foram encontrados por Rozas & Tomazelli (1993) que encontraram 39% das peças de *Eucalyptus viminalis* com rachadura de superfície.

Estudos realizados por Santos (2002) em *Eucalyptus grandis* encontraram, para rachaduras de superfície fortes antes da pré-secagem, 2,33% das peças afetadas, após a pré-secagem, 1,86% e após a secagem convencional, 3,26% das peças foram afetadas.

Quanto à incidência as rachaduras de superfície, podem aparecer quando as condições de secagem são muito severas, segundo Ciniglio (1998), isto é, baixas umidades relativas provocando a rápida secagem das camadas superficiais, enquanto as camadas internas estão com mais de 30% de umidade.

Para a secagem ao ar livre da madeira de *Eucalyptus grandis*, Silva *et al.* (1997) encontraram os seguintes valores para rachaduras, antes da secagem, 10,87% e após a secagem, 11,59% das peças apresentaram o defeito.

Estudos realizados por Vermaas (1995) mostram que na secagem, quando ocorre a retirada de água acima do PSF, a madeira de eucalipto mostra tendência de aumentar o nível de rachaduras e colapso quando são utilizadas temperaturas altas. A secagem em secadores de tábuas de 25 mm ou mais de espessura deve utilizar uma temperatura que não exceda 45°C durante os primeiros estágios, e a umidade relativa do ar deve ser mantida alta, caso contrário rachaduras internas e de superfície podem ser desenvolvidas.

As rachaduras de superfície, apesar de estarem presentes na maioria das tábuas após a secagem combinada, não desclassificaram o material.

#### 4.3.2 Empenamentos

Galvão & Jankowsky (1985) afirmam que os empenamentos são decorrentes de retrações diferenciadas que podem ocorrer nas peças submetidas à secagem, podendo ser causadas pela anisotropia da madeira ou então pelas diferenças entre cerne e alborno, lenho inicial e tardio ou madeira juvenil e adulta.

##### Arqueamento

Na Tabela 11, estão apresentados os valores para arqueamento em mm/m nas três fases de avaliação para *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* na secagem combinada.

A análise de variância, para o arqueamento da madeira de *Eucalyptus citriodora* foi significativa para a estação ao nível de 5% de probabilidade de erro. Enquanto que para a fase de avaliação os valores não foram significativos (ANEXO 13). Os valores médios de arqueamento para a estação do ano foram 3,00% e 1,09% para inverno e verão, respectivamente como pode ser observado no Anexo 14.

A análise de variância, para o arqueamento da madeira de *Eucalyptus grandis* foi significativa para a estação ao nível de 5% de probabilidade de erro. Enquanto que para a fase de avaliação os valores não foram significativos (ANEXO 15). Os valores médios de arqueamento para a estação do ano foram 1,09% e 3,00% para o inverno e verão respectivamente, como pode ser observado no Anexo 16.

A análise de variância para o arqueamento da madeira de *Eucalyptus saligna* foi significativa para a estação ao nível de 5% de probabilidade de erro. Enquanto que para a fase de avaliação os valores não foram significativos (ANEXO 17). Os valores médios de

arqueamento para a estação do ano foram 3,94% e 4,29% para verão e inverno, respectivamente como pode ser observado no Anexo 18.

Quanto à incidência do arqueamento, os maiores valores encontrados foram no verão para todas as espécies. *Eucalyptus saligna* apresentou, nas duas estações, os valores de arqueamento elevados no final da secagem combinada.

TABELA 11: Ocorrência de arqueamento em madeiras de *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, nas três fases de avaliação para cada estação.

VARIÁVEIS	FASE 1			FASE 2			FASE 3		
	A médio (mm/m)	A máx. (mm/m)	% de peças com defeito *	A médio (mm/m)	A máx. (mm/m)	% de peças com defeito *	A médio (mm/m)	A máx. (mm/m)	% de peças com defeito *
<i>E. citriodora</i>									
VERÃO	2,9	5,3	9,38	3,0	6,3	15,63	3,1	7,9	15,63
INVERNO	0,81	2,5	0	1,05	4,5	0	1,43	4,8	0
<i>E. grandis</i>									
VERÃO	3,71	6,5	15,63	3,12	6,8	15,63	3,54	7,4	18,75
INVERNO	2,23	6,7	12,50	2,65	7,7	9,38	2,65	7,7	9,38
<i>E. saligna</i>									
VERÃO	4,11	6,8	34,38	3,63	6,6	25,00	4,09	7,1	37,50
INVERNO	3,58	5,8	21,88	4,61	14,1	40,63	4,69	14,7	37,50

\* = % de peças que possuem defeitos acima do permitido pela norma (  $A \leq 5\text{mm/m}$  )

A = arqueamento; FASE 1: logo após o desdobro; FASE 2: após a secagem ao ar livre, com a madeira apresentando um teor de umidade em torno de 30%; FASE 3: após a secagem convencional, com a madeira a um teor de umidade de 12%.

No verão, a madeira de *Eucalyptus citriodora*, após o desdobro, já apresentou 9,38% da peças afetadas, subindo para 15,63% após a secagem ao ar livre e permanecendo com esse mesmo índice após a secagem convencional, apresentando um arqueamento máximo de 7,9 mm/m após o final do processo. Já no inverno, *Eucalyptus citriodora* não apresentou nenhuma peça com defeitos acima dos permitidos pela norma nas três fases de avaliação.

Para a madeira de *Eucalyptus grandis* na estação do verão, a porcentagem de peças afetadas foi maior desde a primeira fase de avaliação, com 15,63% de peças afetadas nas duas primeiras fases de avaliação subindo para 18,75% de peças afetadas. No inverno a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou menores porcentagens de peças afetadas quando comparada ao

verão, porém no inverno foram encontrados os maiores valores de arqueamento máximo 6,7mm/m; 7,7mm/m; 7,7mm/m, respectivamente, para as três fases de avaliação.

A madeira de *Eucalyptus saligna* apresentou a mesma porcentagem de peças afetadas no final do processo nas duas estações, 37,5% das peças. A madeira de *Eucalyptus saligna* também foi o que apresentou os maiores valores de arqueamento máximo 14,1 mm/m; 14,7 mm/m, respectivamente, nas duas últimas fases de avaliação para o inverno.

Valores superiores de arqueamento foram encontrados por Santos (2002), para *Eucalyptus grandis* na secagem combinada, com magnitude média a forte, 52,5% das peças úmidas, aumentando para 58,1% das peças após a pré-secagem e 74,4% após a secagem convencional.

Rocha (2000), secando *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*, encontrou os seguintes valores para arqueamento antes da secagem, 6,22% e 4,40% de peças com o defeito, respectivamente e 6,22% e 4,41% de peças com defeitos após a secagem.

Por ocasião da secagem ao ar livre e convencional, Santini (1981), encontrou respectivamente 30,5% e 18% das peças afetadas com arqueamento com valores médios de 1,92 mm/m para secagem ao ar livre e 1,5 mm/m para secagem convencional.

## Encurvamento

Na Tabela 12, estão apresentados os valores referentes ao Encurvamento em mm/m nas três fases de avaliação para *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* na secagem combinada.

A análise de variância do encurvamento para a madeira de *Eucalyptus citriodora* foi significativa para a fase ao nível de 5% de probabilidade de erro. Enquanto que para a estação os valores não foram significativos (ANEXO 19).

A análise de variância para a madeira de *Eucalyptus grandis* no encurvamento foi significativa para a estação e para a fase ao nível de 5% de probabilidade de erro (ANEXO 21).

Para a madeira de *Eucalyptus saligna*, os resultados da análise de variância foram significativos a nível de 5% de probabilidade de erro para a fase de avaliação e estação do ano, os dados podem ser observados no Anexo 23.

TABELA 12: Ocorrência de encurvamento em madeiras de *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, nas três fases de avaliação para cada estação.

VARIÁVEIS	FASE 1			FASE 2			FASE 3		
	E médio (mm/m)	E max. (mm/m)	% de peças com defeito *	E médio (mm/m)	E max. (mm/m)	% de peças com defeito *	E médio (mm/m)	E max. (mm/m)	% de peças com defeito *
<i>E. citriodora</i>									
VERÃO	1,0	2,6	0	0,9	2,0	0	0,40	2,6	0
INVERNO	1,97	3,2	0	0,10	1,3	0	0,08	1,0	0
<i>E. grandis</i>									
VERÃO	0,8	1,9	0	0,64	1,3	0	0,44	3,2	0
INVERNO	2,34	3,8	0	0,83	3,2	0	1,30	5,8	3,13
<i>E. saligna</i>									
VERÃO	1,02	3,8	0	0,53	1,6	0	0,40	1,6	0
INVERNO	2,6	3,2	0	0,15	1,0	0	0,43	1,3	0

\* = % de peças que possuem defeitos acima do permitido pela norma ( $e \leq 5\text{mm/m}$ )

E = encurvamento; FASE 1: logo após o desdobro; FASE 2: após a secagem ao ar livre, com a madeira apresentando um teor de umidade em torno de 30%; FASE 3: após a secagem convencional, com a madeira a um teor de umidade de 12%.

Os valores dos testes de médias para as três espécies avaliadas quanto ao encurvamento podem ser observadas nos Anexos 20, 22, e 24.

Pode-se observar que na fase 1 de avaliação, ou seja, antes da secagem ao ar livre, nenhuma das espécies, nas duas estações, apresentaram valores acima dos permitidos pela norma. Esses dados diferem dos dados encontrados por Rocha (2000), que encontrou 59,06% das peças apresentando esse defeito para o desdobro tangencial e 68,05% para o desdobro radial, logo após o processamento das toras, para *Eucalyptus grandis*. Del Menezzi (1999) encontrou, para o *Eucalyptus grandis*, uma média de aproximadamente 88% das tábuas apresentando encurvamento além do permitido pela norma, logo após o desdobro.

Quanto aos resultados médios referentes a encurvamento, os maiores valores foram encontrados para a madeira de *Eucalyptus grandis* no inverno, 2,34mm/m e para *Eucalyptus saligna* no inverno, 2,6 mm/m. Valores semelhantes foram encontrados por Rocha (2000), para a madeira de *Eucalyptus grandis* em desdobro tangencial um valor médio de 2,26 mm/m e o desdobro radial apresentou um valor médio de 3,79 mm/m. Já Del Menezzi (1999) encontrou valores superiores, 5,65 mm/m de encurvamento médio.



Considerando os valores máximos de encurvamento, pode-se dizer que estes não foram elevados, ou seja, nenhuma das peças apresentou valores acima dos permitidos pela Norma de classificação para folhosas IBDF (1993), estes podem ser vistos na Tabela 12.

Já após a secagem ao ar livre (fase 2), do mesmo modo, nenhuma das espécies apresentou valores de encurvamento acima dos permitidos pela norma e os valores máximos regrediram após a secagem ao ar livre, passando para 3,2 mm/m para a madeira de *Eucalyptus grandis* no inverno, sendo esse o maior valor para arqueamento entre as espécies e estações do ano.

Na terceira fase, ou seja, após a secagem convencional, ocorreu na mesma situação, alguns valores regrediram enquanto outros aumentaram, salientando que, apenas para *Eucalyptus grandis* no inverno houve 3,13% das peças afetadas com encurvamento acima do permitido pela norma.

Severo (2000) utilizando três programas de secagem para *Eucalyptus dunnii*, encontrou 2,5% das peças com defeitos no primeiro programa, 5% no segundo e 10% no terceiro programa.

Valores superiores foram encontrados por Santos (2002), na secagem de *Eucalyptus grandis* utilizando secagem combinada. O autor encontrou desde a madeira úmida 93% das peças afetadas aumentado para 98,6% ao final da secagem.

Utilizando métodos de secagem com e sem aspersão, Ciniglio (1998) encontrou uma porcentagem de peças com encurvamento para *Eucalyptus grandis*, 71,2 e 73,1% na condição verde, 71,2 e 71,2% no PSF e 66,7 e 76% na condição seca respectivamente. Os valores encontrados para *Eucalyptus urophylla* nas mesmas condições foram 78 e 69,7% na condição verde, 80,5 e 74,7% no PSF e 76,3 e 53,5% na condição seca respectivamente para com e sem aspersão.

Na secagem de *Eucalyptus grandis* em desdobro tangencial, 59,06% das peças já apresentavam encurvamento e após a secagem 44,44% das peças apresentavam esse defeito. Já para *Eucalyptus dunnii*, 47,91% das peças apresentaram defeitos ainda verdes e 37,97% após a secagem (Rocha 2000).

## Encanoamento

Não foi verificada a presença de encanoamento em nenhuma espécie e seus tratamentos. A ausência desse defeito se deve à maneira correta com que a secagem ao ar livre e convencional foi executada. As peças foram colocadas de forma adequada com separadores distanciados uniformemente e houve restrição operada pelos pesos no topo das pilhas. Na secagem ao ar livre de *Eucalyptus grandis*, em Ubá – MG, Silva *et al.* (1997) também não encontraram, antes da secagem e após a secagem, valores para encanoamento que prejudicassem a qualidade do material.

De acordo com Ciniglio (1998), o encanoamento pode ocorrer principalmente em duas ocasiões; i) secagem mais rápida de uma das faces ou ii) uma face se contrai mais que a outra, mesmo com secagem uniforme, em razão do plano em que foi feito o corte da peça, radial ou tangencial.

### 4.3.3 Tensões de secagem

A existência de endurecimento superficial foi avaliada através do “teste do garfo”. As amostras foram retiradas das tábuas após a secagem convencional como descrito na metodologia.

Na Tabela 13, estão apresentados os resultados da avaliação das tensões de secagem, que correspondem ao estado final da madeira após o processo de secagem combinada, sendo que cada carga de madeira foi submetida a 8 horas de condicionamento antes da realização do teste.

Na Tabela 13, estão apresentados os valores de tensões de secagem nas três fases de avaliação para *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* na secagem combinada.

TABELA 13: Avaliação das tensões de secagem em madeiras de *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* para cada estação após o processo de secagem combinada.

Teste do garfo	Avaliação após a secagem			Avaliação após 24 horas em câmara climatizada		
	Forte %	Normal %	Suave %	Forte %	Normal %	Suave %
<i>E. citriodora</i> VERÃO	12,12	36,36	51,51	100	0	0
<i>E. citriodora</i> INVERNO	12,1	36,4	51,5	100	0	0
<i>E. grandis</i> VERÃO	50	0	50	75	0	25
<i>E. grandis</i> INVERNO	33,33	0	66,67	100	0	0
<i>E. saligna</i> VERÃO	100	0	0	100	0	0
<i>E. saligna</i> INVERNO	70	0	30	100	0	0

O endurecimento superficial pode ser definido como uma condição existente na madeira resultante do esforço de secagem, causado basicamente por uma secagem muito rápida e desuniforme (Ciniglio, 1998).

Os dados fornecem a porcentagem de peças tensionadas após a secagem combinada. Salientando-se que apenas *Eucalyptus grandis* quando seco no verão apresentou 25% das amostras com tensões suaves, uma vez que todas as demais tiveram 100% das amostras com tensões fortes ao final do processo de avaliação. Santos (2002), em secagem combinada, encontrou 75% das peças tensionadas.

#### 4.3.4 Colapso

Normalmente o colapso é um dos defeitos mais graves que ocorrem na secagem de espécies de difícil secagem como é o caso das espécies do gênero *Eucalyptus*. Entretanto, no presente estudo a madeira das três espécies avaliadas não apresentaram esse defeito, em nenhuma das estações do ano. Considerando que a secagem do material estudado foi realizada ao ar livre até abaixo do PSF (Ponto de saturação das fibras), e logo foi realizada a secagem convencional utilizando temperaturas de 45°C para termômetro de bulbo seco e 44,5°C para termômetro de bulbo úmido para atingir o teor de umidade final estabelecido de 12%. As medidas tomadas para a execução da secagem ao ar livre tiveram grande importância nesse resultado. Nesta pesquisa estes fatores foram decisivos para a ausência do colapso.

Desse modo, a umidade pode ser retirada da madeira de forma lenta e suave, não ocasionando o colapso na madeira das três espécies estudadas, dentro dos dois períodos distintos: inverno e verão.

Não foi observada a incidência de colapso nas peças avaliadas, considerando que uma secagem lenta e temperaturas amenas favoreceram a movimentação de umidade sem provocar tensões nos capilares, fato que provocaria o colapso. Outro fator importante que se deve considerar é que a água que foi retirada lentamente pela secagem ao ar livre corresponde à água do lúmen ocasionando apenas a redução do peso não afetando as demais propriedades da madeira.

Normalmente o colapso é ocasionado por programas de secagem severos que utilizam temperaturas altas, fato que não ocorreu neste trabalho.

## 5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados da secagem combinada de três espécies do gênero *Eucalyptus*, para duas estações do ano, conclui-se que:

- No verão, a secagem ao ar livre da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus citriodora* demorou respectivamente, 14,2, 21,3 e 27,2 dias ao passo que no inverno o tempo de secagem dessas espécies até aproximadamente o ponto de saturação das fibras foi 31,2, 39,16 e 47,12 dias, para as condições climáticas de Santa Maria , RS.
- No verão, a secagem convencional da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus citriodora* demorou 4,45, 6,1 e 13,7 dias ao passo que no inverno, o tempo de secagem foi respectivamente 1,6, 3,3 e 6,62 dias, possivelmente devido ao condicionamento natural ocorrido nesse período.
- Em comparação com o verão, a secagem combinada da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus citriodora* foi 73,5%, 55,3% e 31,5% mais demorada no inverno.
- A porcentagem de peças com rachaduras de topo foi mais elevada em *Eucalyptus citriodora* no verão e *Eucalyptus grandis* no inverno *Eucalyptus saligna* apresentou um percentual constante (9,38%) desde a primeira fase de avaliação até o final do processo de secagem.
- Na secagem feita no verão, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* foram as espécies que não apresentaram rachaduras de topo, sendo as mais indicadas para este processo de secagem quando se quer minimizar este defeito, assim como foram as de menor tempo de secagem.
- *Eucalyptus citriodora* apresentou o menor número de peças com rachaduras de superfície no verão, mas um alto percentual no inverno, ao passo que a madeira de *Eucalyptus saligna* foi muito afetada pelo defeito tanto no verão como no inverno.
- A madeira de *Eucalyptus citriodora* no inverno não apresentou peças com arqueamento enquanto que nas demais espécies, 15,6 a 37,5% das peças resultaram arqueadas.

- Apenas 3,1% das peças de *Eucalyptus grandis* apresentaram, no inverno, valores de encurvamento acima dos permitidos pela norma, e as demais espécies não apresentaram o defeito.
- Na avaliação das tensões de secagem, 25% das peças de *Eucalyptus grandis* apresentaram tensões suaves no verão, e para as demais espécies, 100% das peças resultaram tensionadas nas duas estações.
- Nenhum colapso foi evidenciado na madeira das três espécies estudadas, durante as duas estações, possivelmente devido a eficiência da combinação dos dois métodos de secagem.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. **Indicação de programas para secagem convencional de madeiras**, SP. 2000. 72f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

ANDRADE, A., JANKOWSKY, I. P.; DUCATTI, M. A. Grupamento de madeiras para secagem convencional. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 89-99, jun. 2001.

A retratibilidade da madeira. **Revista da Madeira**. Edição Especial, p. 68-70, 2001.

ASSIS, T. F. Aspectos do melhoramento de *Eucalyptus* para obtenção de produtos sólidos de madeira. In: WORKSHOP: TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1999, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SIF/UFV, 1999, p. 61-72.

BAUER, L. A. F., **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora AS, 2ª edição. 1985. 705p.

BRASIL. Norma para classificação de madeira serrada de folhosas. Ministério da agricultura. Instituto brasileiro de desenvolvimento florestal. Departamento de industrialização e comercialização. Departamento de economia florestal. LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS, BRASÍLIA, 1983, 67 p.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 154p., 1991.

CHOONG, E. T.; SHUPE, T. F.; CHEN, Y. Effect of steaming and hot-water soaking on extractive distribution and moisture diffusivity in southern pine during drying. **Wood Fiber Science**, v. 31, n. 2, p. 143-150, 1999.

CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem de madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla***. 1998, 73p. (Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DEL MENEZZI, C. H. S. **Utilização de um método combinado de desdobro e secagem para a produção de madeira serrada de eucalyptus grandis Hill-ex Maiden e Eucalyptus cloeziana F. Muell.** 1999, 87p. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz–USP, Piracicaba, 1999.

DURLO, M. A., Relação água-madeira. I SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DE MADEIRA, p. 35 a 46, 1992.

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

ILIC, J.; HILLIS, W. E. Prediction of collapse in dried eucalypt wood. **Holzforschung**, v. 40, p. 109-112, 1986.

HILLIS, W. E. Wood quality and utilization. In: HILLIS, W. E.; BRONW, A. G. (Eds). **Eucalyptus for Wood Production.** Australia: CSIRO, 1984. Chapter 12, p.

JANKOWSKY, I, P, SANTOS, G. R. V., ANDRADE, A. Circular Técnica. **Secagem da madeira serrada de eucalipto**, dez. de 2003, 14 p.

JANKOWSKY, I. P. Fundamentos de secagem de madeiras. **Documentos Florestais.** Piracicaba, 1990.

JANKOWSKY, I, P. **Melhorando a eficiência dos secadores para madeira serrada.** ESALQ/USP. Circular Técnica do IPEF, N. 191, 2000.

JANKOWSKY, I. P. Secagem adequada é decisiva para a qualidade. **Revista da Madeira**, P. 102-104, fev. de 2004, ano 15, n. 87.

LEITE, H. G., VITAL, B. R., GOMES, A. N., Teor de umidade da madeira de eucalipto em função do tempo de secagem. **O papel**, out. p. 87-100, 2000.



LIMA, J. T., TRUGILHO, P. F., MENDES, L. M. Tendências no uso de madeira serrada de eucalipto. **Revista da Madeira**, ano 8, n. 49, p. 44-48 1999.

MARCHIORI, J. N., e SOBRAL, M. **Dendrologia das angiospermas: Myrtales**. Editora UFSM. 1997. 304p. Santa Maria.

MARCHIORI, J. N. C., Influência da estrutura anatômica na secagem da madeira. In: I SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DE MADEIRA, 1, 1992. Santa Maria. **Anais...** UFSM, Centro de Pesquisas Florestais, 1992, p. 35-46.

MARTINS, V. A.; GOUVEIA, F. N. ; MARTINEZ, S. Secagem convencional de madeira de Eucalipto Parte I: *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, *E. grandis* Hill ex Maiden e *E. pilularis* Sm. **Brasil Florestal**, n. 70, p. 42-47, 2001.

MENDES, L.M., SILVA, J. R. M. da., TRUGULHO, P.F. & LIMA, J. T. Técnicas corretas de secagem da madeira do eucalipto ao ar livre. In: Eucalypts:IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts, Salvados, Brasil. 24-29 de agosto, 1997, p. 373-379.

MENDES, L.M., SILVA, J. R. M. da., TRUGULHO, P.F. & BOTELHO, J. E. Comportamento da madeira de 25 espécies de *Eucalyptus* durante a secagem ao ar livre. In: VI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. **Anais..** Florianópolis-SC, 22 a 24 de julho de 1998. v. 3, p. 147-157.

MENDES, A. S., MARQUES, M. H. B., MARTINS, V. A. **Programas de secagem para madeiras brasileiras**. IBAMA, 114p. 1998.

MENDES, L. M. *et al.* Umidade de equilíbrio da madeira no planejamento de sua secagem. **Revista da Madeira**, ano 9, n. 51, p. 74-78, 2000.

MIRANDA, M. J. A., NAHUZ, M. A R. Estudo da influência do espaçamento de plantio de *Eucalyptus saligna* Smith nos índices de rachamento após o desdobro e após a secagem. **Scientia Forestalis**, n. 55, p. 107-116, 1999.

OLIVEIRA, L. da S. **Efeito de pré-tratamentos de água quente e congelamento na secagem e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. Santa Maria, 2003,85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. São Paulo, 1997, 447p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 1997.

OLIVEIRA, J. T. S., CARVALHO, A. M. L., Secagem e Preservação da Madeira de Eucalipto. **Revista da Madeira**, n. 55, p. 58-61, 2001.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como Fontes de Matéria Prima para Serraria**. 2000. 186f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ROZAS, M. E. C. E. & TOMASELLI, I. Secagem de madeira serrada de *Eucalyptus viminalis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 147-159, 1993.

ROZAS, E. C. E. M. **Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para a utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* (Hill Ex Maiden) na geração de produtos com maior valor agregado**. 1993, 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SANTINI, E. J. **Influência de temperatura na taxa de secagem e contração da madeira de *Pinus elliottii* proveniente de plantios de rápido crescimento**. Curitiba: FUPPEF, 1980, 15p. (Série Técnica, n. 5).

SANTINI, E. J.. **Secagem de madeira serrada em estufa solar e sua comparação com os métodos convencionais**. 1981, 185p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SANTINI, E. J. & TOMASELLI, I. **Colapso na madeira e algumas experiências brasileiras**. Curitiba: FUPEF, 1980, 21p. (Série Técnica, n. 3).

SANTINI, E. J. & HASELEIN, C. R. Efeito da temperatura e velocidade do ar sobre a taxa de secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 99-106. 2002.

SANTINI, E. J. Métodos usuais de secagem da madeira. In: SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DA MADEIRA, I., 1992, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: Centro de Pesquisas Florestais/UFSM.

SANTOS, G.R.V., JANKOWSKY, I.P., ANDRADE.A., Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**. n. 63. p. 214-220, jun., 2003.

SANTOS, G. R. V. **Otimização da secagem da madeira de Eucalyptus grandis (Hill ex Maiden)**, SP. 2002. 70f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

SEVERO, E. T. D. Qualidade da secagem de Madeira Serrada de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 1, p. 109-124. 2000.

SILVA, J. C. Eucalipto: a madeira do futuro. **Revista da Madeira**, Edição especial, 2001, 114p.

SILVA, J. R. M., MENDES, L. M., WENZEL, M. K. Secagem ao ar livre da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de móveis. **Cerne** v. 3, n. 1, p. 170-186, 1997.

STEINER, C. Utilização da madeira de eucalipto na construção civil. **Revista da Madeira**, ano 10, n. 57, p. 72-76, 2001.

STUMPP, E. **Ensaio físico-mecânico das madeiras *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*, oriundas de florestas plantadas no Rio Grande do Sul.** 2000. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TOMASELLI, I. e KLITZKE, R. J. **Secagem da Madeira.** Fundação Hugo Simas: UFPR, Lages, 2000.

TOMASELLI, I. **Secagem a alta temperatura e sua aplicação nas condições brasileiras.** **Revista Floresta**, vol. 7 (1), junho de 1976, p.,50-57.

VERMAAS, H.F. **Drying of eucalypts for quality: material characteristics, pré-drying treatments, drying methods, schedules and optimization of drying quality.** In : SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. **Anais.** Piracicaba: IPEF, 1995, p. 119-132.

VERMAAS, H. F. **Interaction of wood, water and stress during drying: A review.** **Southern African Forestry Journal**, n. 18, p. 25-32, 1998.

## 7 ANEXOS

ANEXO 1: Equações ajustadas para as curvas de secagem de *Eucalyptus citriodora* em função do Tempo decorrido (dias) no inverno.

Equação	F	S <sub>yx</sub>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	P
Secagem combinada				
SQRT(TU) = 7,47839 – 0,0648434*tempo	352,59*	0,24570	93,61	0,00
Secagem ao ar livre				
LOG (TU) = 3,97256 – 0,016325 * tempo	174,02*	0,05285	93,01	0,00
Secagem convencional				
SQRT (TU) = 16,4755 – 0,241062 * tempo	548,32*	0,03996	98,03	0,00

F = teste de F; R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa y; P = nível de probabilidade de erro.

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

ANEXO 2: Equações ajustadas para as curvas de secagem de *Eucalyptus grandis* em função do Tempo decorrido (dias) no inverno.

Equação	F	S <sub>yx</sub>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	P
Secagem combinada				
SQRT(TU) = 8,1006 – 0,125547 * tempo	196,32*	0,33286	91,562	0,00
Secagem ao ar livre				
SQRT(TU) = 8,1006 – 0,125547 * tempo	196,32*	0,33286	91,562	0,00
Secagem convencional				
SQRT(TU) = 32,6449 – 0,89107 * tempo	1043,70*	0,02699	99,2386	0,00

F = teste de F; R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa y; P = nível de probabilidade de erro.

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

ANEXO 3: Equações ajustadas para as curvas de secagem de *Eucalyptus saligna* em função do Tempo decorrido (dias) no inverno.

Equação	F	S <sub>yx</sub>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	P
Secagem combinada				
LOG(TU) = 4,33522 – 0,035677 * tempo	248,92*	0,11476	92,88	0,00
Secagem ao ar livre				
TU = 95,817 – 19,9442 * log (tempo)	530,06*	1,61155	98,3273	0,00
Secagem convencional				
SQRT = 22,0657 – 0,432888 * tempo	132,31*	0,08095	94,25	0,00

F = teste de F; R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa y; P = nível de probabilidade de erro.

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

ANEXO 4: Equações ajustadas para as curvas de secagem de *Eucalyptus citriodora* em função do Tempo decorrido (dias) no verão.

Equação	F	S <sub>yx</sub>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	P
Secagem combinada SQRT(TU) = 7,07982 – 0,0809559* tempo	645,00*	0,1563	96,40	0,00
Secagem ao ar livre TU = 54,2589 – 5,46895* SQRT (tempo)	287,11*	1,1244	97,6118	0,00
Secagem convencional TU = 177,51 – 44,4532 *Log (tempo)	779,38*	0,3701	97,98	0,00

F = teste de F; R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa y; P = nível de probabilidade de erro.

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

ANEXO 5: Equações ajustadas para as curvas de secagem de *Eucalyptus grandis* em função do Tempo decorrido(dias) no verão.

Equação	F	S <sub>yx</sub>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	P
Secagem combinada TU = 82,0606 – 15,5662 * Sqrt (tempo)	1128,93*	1,6736	98,86	0,00
Secagem ao ar livre Log(TU) = 4,3418 – 0,0853344 * tempo	822,23*	0,0225	99,51	0,00
Secagem convencional TU = 22,0237 – 7,15525E-8 * Exp (tempo)	253,77*	0,4099	96,93	0,0

F = teste de F; R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa y; P = nível de probabilidade de erro.

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

ANEXO 6: Equações ajustadas para as curvas de secagem de *Eucalyptus saligna* em função do Tempo decorrido (dias) no verão.

Equação	F	S <sub>yx</sub>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	P
Secagem combinada SQRT(TU) = 7,75977 – 0,135568* tempo	479,63*	0,2062	95,60	0,00
Secagem ao ar livre TU = 71,7236 – 2,09283 * tempo	336,38*	0,6736	95,44	0,00
Secagem convencional TU = 75,1148 – 16,888 * log (tempo)	2780,69*	0,3286	99,85	0,00

F = teste de F; R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa y; P = nível de probabilidade de erro.

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

ANEXO 7: Análise de Variância para Rachaduras de Topo em *Eucalyptus citriodora* em função da estação e da fase de avaliação .

FV	SQ	GL	QM	Fcal.	P
ESTAÇÃO	2608,28	1	2608,28	17,67*	0,00
FASE	1090,73	2	545,365	3,70*	0,02
RESÍDUO	27747,0	188	147,59		
TOTAL	31446,0	191			

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

ANEXO 8: Teste de médias para as rachaduras de topo em *Eucalyptus citriodora* em função da estação do ano:

ESTAÇÃO	TÁBUAS	MÉDIA	GRUPOS HOMOGÊNEOS
2	96	2,07255	X
1	96	9,44407	X

ANEXO 9 : Análise de Variância para Rachaduras de Topo em *Eucalyptus grandis* em função da estação e da fase de avaliação.

FV	SQ	GL	QM	Fcal.	P
ESTAÇÃO	1767,11	1	1767,11	45,94*	0,00
FASE	433,298	2	216,649	5,63*	0,00
RESÍDUO	7232,11	188	38,4687		
TOTAL	9432,52	191			

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

ANEXO 10: Teste de médias para as rachaduras de topo em *Eucalyptus grandis* em função da estação do ano:

ESTAÇÃO	TÁBUAS	MÉDIA	GRUPOS HOMOGÊNEOS
1	96	1,22417	X
2	96	7,29169	X

ANEXO 11 : Análise de Variância para Rachaduras de Topo em *Eucalyptus saligna* em função da fase de avaliação na estação do ano.

FV	SQ	GL	QM	Fcal.	P
FASE	810,235	2	405,117	7,81*	0,00
ESTAÇÃO	146,958	1	146,958	2,83*	0,09
RESÍDUO	9757,44	188	51,9013		
TOTAL	10714,6	191			

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

ANEXO 12: Teste de médias para as rachaduras de topo em *Eucalyptus saligna* em função da fase de avaliação:

FASE	TÁBUAS	MÉDIA	GRUPOS HOMOGÊNEOS
1	64	1,54594	X
3	64	2,33222	X
2	64	6,24328	X

ANEXO 13 : Análise de Variância para Arqueamento em *Eucalyptus citriodora* em função da estação do ano.

FV	SQ	GL	QM	Fcal.	P
ESTAÇÃO	174,241	1	174,241	88,40*	0,00
FASE	4,4135	2	2,20675	1,12 <sup>ns</sup>	0,32
RESÍDUO	370,55	188	1,97101		
TOTAL	549,204	191			

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

NS = NÃO SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO



ANEXO 14: Teste de médias para Arqueamento em *Eucalyptus citriodora* em função da estação do ano:

ESTAÇÃO	TÁBUAS	MÉDIA	GRUPOS HOMOGÊNEOS
2	96	1,09676	X
1	96	3,00202	X

ANEXO 15 : Análise de Variância para Arqueamento em *Eucalyptus grandis* em função da estação e da fase de avaliação .

FV	SQ	GL	QM	Fcal.	P
ESTAÇÃO	43,0288	1	43,0288	13,20*	0,00
FASE	1,44495	2	0,722475	0,22 <sup>ns</sup>	0,80
RESÍDUO	608,045	188	3,22428		
TOTAL	652,519	191			

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

NS = NÃO SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO

ANEXO 16 : Teste de médias para Arqueamento em *Eucalyptus grandis* em função da estação do ano:

ESTAÇÃO	TÁBUAS	MÉDIA	GRUPOS HOMOGÊNEOS
2	96	1,09676	X
1	96	3,00202	X

ANEXO 17 : Análise de Variância para Arqueamento em *Eucalyptus saligna* em função da estação e da fase de avaliação .

FV	SQ	GL	QM	Fcal.	P
ESTAÇÃO	2,16752E11	1	2,16752E11	3,95*	0,04
FASE	1,63447E11	2	8,17234E10	1,49 <sup>ns</sup>	0,22
RESÍDUO	1,03045E11	188	5,4811E10		
TOTAL	1,06847E13	191			

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

NS = NÃO SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO

ANEXO 18: Teste de médias para Arqueamento em *Eucalyptus saligna* em função da estação do ano:

ESTAÇÃO	TÁBUAS	MÉDIA	GRUPOS HOMOGÊNEOS
1	96	3,94532	X
2	96	4,29151	X

ANEXO 19: Análise de Variância para Encurvamento *Eucalyptus citriodora* em função da fase de avaliação na estação do ano.

FV	SQ	GL	QM	Fcal.	P
FASE	53,7627	2	26,8813	56,65*	0,00
ESTAÇÃO	0,134811	1	0,134811	0,28 <sup>ns</sup>	0,59
RESÍDUO	89,203	188	0,474484		
TOTAL	143,1	191			

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

NS = NÃO SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO

ANEXO 20 : Teste de médias para Encurvamento em *Eucalyptus citriodora* em função da fase de avaliação:

FASE	TÁBUAS	MÉDIA	GRUPOS HOMOGÊNEOS
3	64	0,241025	X
2	64	0,513764	X
1	64	1,47479	X

5% de probabilidade de erro.

ANEXO 21 : Análise de Variância para Encanoamento em *Eucalyptus grandis* em função da estação e da fase de avaliação .

FV	SQ	GL	QM	Fcal.	P
ESTAÇÃO	35,4838	1	35,4838	42,13*	0,00
FASE	26,0812	2	13,0406	15,48*	0,0
RESÍDUO	158,356	188	0,84232		
TOTAL	219,921	191			

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

ANEXO 22: Teste de médias para Encurvamento em *Eucalyptus grandis* em função da estação do ano:

ESTAÇÃO	TÁBUAS	MÉDIA	GRUPOS HOMOGÊNEOS
1	96	0,633789	X
2	96	1,49358	X

5% de probabilidade de erro.

ANEXO 23: Análise de Variância para Encurvamento *Eucalyptus saligna* em função da fase de avaliação na estação do ano.

FV	SQ	GL	QM	Fcal.	P
FASE	83,8976	2	41,9488	76,72*	0,00
ESTAÇÃO	8,1926	1	8,1926	14,68*	0,00
RESÍDUO	102,799	188	0,546804		
TOTAL	194,889	191			

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

ANEXO 24: Teste de médias para Encurvamento em *Eucalyptus saligna* em função da fase de avaliação:

FASE	TÁBUAS	MÉDIA	GRUPOS HOMOGÊNEOS
2	64	0,348926	X
3	64	0,423518	X
1	64	1,787	X