OCORRÊNCIA DO COLAPSO NA SECAGEM DA MADEIRA DE
EUCALYPTUS GRANDIS E EUCALYPTUS SALIGNA.

ANÍZIO DE ARAÚJO CAVALCANTE
Eng.º Op. da Ind. da Madeira

Orientador: Prof. Dr. IVALDO PONTES JANKOWSKY

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Ciências Florestais.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Março / 1991

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

Cavalcante, Anízio de Araújo

C376o Ocorrência do colapso na secagem da madeira de
Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna. Piraci
caba, 1991.
76p. ilustr.

Diss. (Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Madeira de eucalipto - Secagem - Colapso I.
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Pi
racicaba

CDD 674.1

OCORRÊNCIA DO COLAPSO NA SECAGEM DA MADEIRA DE
EUCALYPTUS GRANDIS E EUCALYPTUS SALIGNA.

ANÍZIO DE ARAÚJO CAVALCANTE

APROVADA EM: 19/04/91

Comissão Julgadora

Prof. Dr. Ivaldo Pontes Jankowsky

ESALQ/USP

Prof. Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo

ESALQ/USP

Dr. João Peres Chimelo

IPT/USP

Prof. Dr. Ivaldo Pontes Jankowsky
Orientador

Aos meus pais

Mário (in memoriam) e Helena
a quem devo amor e dedicação
pela determinação com que
conduziram minha formação
espiritual e profissional.

Aos meus irmãos

Olinto e Clarice,
ofereço.

"Pela inspiração espiritual que
induz ao trabalho permanente, a despeito de todos os
riscos, sacrifícios e insucessos, na esperança de um mundo
melhor".

MARIA, MÃE DE DEUS

À minha esposa 'ROSINEILI'

pelo amor, amizade e compreensão.

aos meus filhos

Anízio Junior,

Sílvia Helena,

Mário Gadelha e

Ana Clarissa,

por um mundo melhor no futuro,

dedico

A G R A D E C I M E N T O S

O autor agradece a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho, e em particular:

Ao Prof.Dr. Ivaldo Pontes Jankowsky, pela orientação, estímulo, amizade, companheirismo e paciência;

Ao Instituto de Tecnologia da Amazônia - UTAM, pela oportunidade da realização do curso;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior - CAPES, pela concessão de bolsa de estudo através do Programa Institucional de Capacitação de Docentes-PICD;

Aos docentes do Departamento de Ciências Florestais pelo incentivo, em especial aos Prof.Dr. Mário Tomazello Filho, Prof.Dr. José Nivaldo Garcia pelas sugestões e Prof.Dr. Hilton T. Z. do Couto pela orientação estatística;

Ao Dr. W.G. Kauman e Dr. Alain Mariaux pelas contribuições e sugestões;

Aos funcionários do LCF/IPEF pelo apoio e em especial a Benedito M.S. Leite, Marialice Poggiani, Maria Rizzato, Milton C. Ribeiro e Luís Eduardo Facco pelo apoio na

execução do trabalho;

À EUCATEX S.A. pela concessão do material utilizado no desenvolvimento do trabalho, em especial aos Eng^{os} Florestais Osmar Beig e Marcos Alexandre.

Ao Eng. Florestal Tsuyoshi Okuno, pela tradução de artigos em japonês;

Aos amigos do curso de Pós-graduação, Narciso da Silva Cardoso, Márcio Roberto Gaiotto, Jaime Tadeu França, José Raimundo Passos e demais colegas pelo estímulo e amizade desenvolvida durante o curso;

As pessoas que colaboraram para a realização deste trabalho e tiveram seus nomes aqui omitidos.

C O N T E U D O

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	xi
SUMMARY	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Permeabilidade e Densidade	6
2.2. Tensão Capilar e Tensão Hidrostática	9
2.3. Mecanismo do Colapso	13
2.4. Métodos de Prevenção	16
2.5. Métodos de Recuperação	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1. Quantificação do Colapso	34
4.2. Propriedades Físico - Mecânicas	38
4.3. Comparação entre Espécies	45
4.4. Comparação entre Tratamentos	51
4.5. Comparação entre Secagens	55
4.6. Comparação entre Tábuas	57
4.7. Efeito do Condicionamento	61
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	65
6. LITERATURA CITADA	67

LISTA DE FIGURAS

N ^o	Título	pg
1	a) Líquido de capilar úmido b) Líquido de capilar não úmido	10
2	Ilustra a evaporação de água livre na madeira (Original de SKAAR, 1972).	16
3	Esquema demonstrativo a ser empregado na avaliação do colapso (dimensões em cm).	24
4	Localização e forma dos corpos de prova (dimensões em cm).	25
5	Tanque onde realizou-se os tratamentos T1, T2 e T3.	26
6	Ferramenta utilizada no processo de incisão.	27
7	Esquema utilizado na determinação da permeabilidade da madeira.	28
8	Estufa Hildebrand utilizada nas secagens S ₁ , S ₂ e S ₃ .	30
9	Esquema demonstrativo da medição do colapso, adaptado de Terazawa (1965), segundo BRANDÃO, (1989).	31
10	Variação do colapso nos diversos tratamentos do <i>E. saligna</i>	49
11	Variação do colapso nos diversos tratamentos do <i>E. grandis</i>	49

LISTA DE TABELAS

Nº	Título	pg
1	Condições e tempo de tratamento.	23
2	Condições de secagem a que foram submetidas as amostras.	29
3	Condições de secagem e quantificação das retrações normal e colapsada para os eucaliptos.	35
4	Análise geral da variância do índice do colapso para as espécies estudadas.	36
5	Análise geral das médias do índice do colapso, através do teste Tukey aos níveis de 1% e 5% de probabilidade.	37
6	Valores médios da densidade básica em função dos diferentes tratamentos.	39
7	Análise da variância aplicada aos resultados da densidade básica.	39
8	Análise geral de médias da densidade básica, através do teste Tukey aos níveis de 1% e 5% de probabilidade.	40
9	Valores médios da permeabilidade em função dos diferentes tratamentos.	40
10	Análise geral da variância da permeabilidade para as espécies estudadas.	41
11	Análise geral de médias da permeabilidade através do teste Tukey aos níveis de 1% e 5% de probabilidade.	42
12	Valores médios da resistência a compressão verde e seca em função dos diferentes tratamentos.	43

	condicionamento, através do teste Tukey aos níveis de 1% e 5% de probabilidade	58
24	Análise de médias da densidade básica em função da tábuas, através do teste Tukey aos níveis de 1% e 5% de probabilidade	58
25	Análise de médias da permeabilidade em função das tábuas, através do teste Tukey aos níveis de 1% e 5% de probabilidade	59
26	Análise da correlação entre a densidade básica, permeabilidade e índice do colapso para as duas espécies de eucaliptos estudadas.	60
27	Análise da regressão linear simples entre a densidade básica e o índice do colapso em função das espécies.	60
28	Avaliação do índice do colapso em <i>E. grandis</i> antes (A) e depois (D) do processo de condicionamento.	62
29	Avaliação do índice do colapso em <i>E. saligna</i> antes (A) e depois (D) do processo de condicionamento.	63

OCORRENCIA DO COLAPSO NA SECAGEM DA MADEIRA DE

EUCALYPTUS GRANDIS E EUCALYPTUS SALIGNA

Autor: Anízio de Araújo Cavalcante

Orientador: Ivaldo Pontes Jankowsky

Resumo

Foram estudados diferentes tratamentos na prevenção do colapso por ocasião da secagem ao ar e em estufa da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*.

Os métodos empregados no presente estudo foram realizados com o uso da solução de cloreto de amônio (NH_4Cl), na concentração de 5g/l, sendo executados às temperaturas de 100°C (vapor amoniacal), 75°C e 50°C (solução amoniacal). No primeiro método, as amostras não entraram em contato direto com a solução, enquanto nos outros dois as amostras foram submersas na solução.

Um outro método utilizado foi o incisamento das amostras. Foram feitos pequenos sulcos de aproximadamente 1,0cm de comprimento por 0,5 a 0,8cm de profundidade, em ambas as faces e no sentido da grã, com a finalidade de melhorar a evaporação da água livre.

Além destes métodos foram utilizadas amostras sem nenhum tratamento anterior às secagens, compondo o grupo das testemunhas.

Após aplicação dos tratamentos, foram realizadas secagens em estufa e ao ar livre. Para as secagens em estufa, foram utilizadas temperaturas de 30°C, 45°C e 60°C, todas com umidade relativa de 80%, visando não provocar uma secagem superficial muito rápida, que favoreceria a ocorrência do colapso. A secagem ao ar livre foi realizada nas dependências do Laboratório de Ciências Florestais da ESALQ com duração aproximada de 45 dias.

As duas espécies foram analisadas quanto à ocorrência e quantificação do colapso. Notou-se que o colapso apresentado pelo *E. grandis* foi menor do que o encontrado para o *E. saligna*, talvez em função dos tratamentos com cloreto de amônio, que retiraram algum extrativo ou por esta espécie apresentar menor tendência ao colapso quando comparado ao *E. saligna*.

A temperatura de secagem mostrou ser um fator decisivo no aparecimento do colapso, uma vez que os maiores índices de colapso apareceram com o aumento da temperatura.

Tanto o *E. grandis* como o *E. saligna* mostraram o mesmo nível de permeabilidade antes e depois dos tratamentos químicos, demonstrando que os mesmos não foram eficientes em aumentar a evaporação da água livre.

A interação entre índice do colapso e densidade básica entre as árvores das duas espécies mostrou que para o *E. saligna* houve uma correlação negativa e significativa ao nível de 1% de probabilidade. A equação que permite expressar a intensidade do colapso é a seguinte:

$$I.C (\%) = 0,855998 - 0,045131 \times \text{Densidade básica}$$

Não foi notada nenhuma correlação entre o índice do colapso e as outras variáveis estudadas.

Após as secagens foi executado um condicionamento à 80°C e umidade relativa superior a 80%, por 8 horas. Após esta fase, realizou-se outra análise onde notou-se que o *E. saligna* apresentou melhor resultado de recuperação desse defeito, apesar de ter mostrado maior índice do colapso antes do condicionamento.

Notou-se que os resultados apresentados pelos tratamentos preventivos não foram eficazes em diminuir ou eliminar o colapso. O condicionamento foi o melhor método encontrado para a recuperação das madeiras colapsadas.

COLLAPSE INCIDENCE IN THE DRYING OF EUCALYPTUS GRANDIS AND
EUCALYPTUS SALIGNA WOODS

Author: Anízio de Araújo Cavalcante

Adviser: Ivaldo Pontes Jankowsky

Summary

Five different treatments for collapse prevention during the kiln drying of *Eucalyptus grandis* and *E. saligna* woods were studied.

The methods utilizing ammonium chloride (NH_4Cl), with concentration of 5g/l, was carried out at 100°C (vapor), 75°C and 50°C (solution). In the highest temperature the samples were exposed to ammoniacal vapor, while in the other two temperatures the samples were immersed in the ammoniacal solution.

Another procedure was the incising method, with incisions of 1,0 cm long and 0,5 to 0,8 cm deep in the two sides of wood samples, following the grain direction. The objective was to improve its capillarity and water evaporation.

The last group of samples was the control, without any treatment before drying.

Following treatment application, the wood was air and kiln dried. In the kiln drying the temperatures were 30°C, 45°C and 60°C, with 80% of relative humidity to avoid fast superficial drying and to minimize the possibility of collapse occurrence. The air drying was realized at shade and it took 45 days to reach 12% moisture content.

The two species were analysed in relation to occurrence and intensity of collapse. Comparing the two species, it was showed that collapse was more intense in *E. saligna* than in *E. grandis*.

The drying temperature showed to be a decisive factor with the collapse intensity increasing with drying temperature.

E. grandis and *E. saligna* showed the same permeability, regarding that all the treatments were not efficient to improve the capillarity and water evaporation.

The interaction between collapse index, basic density and permeability were examined through linear regression analysis. It was found a significant negative linear correlation at 1% level of probability between collapse index and basic density for *E. saligna*. The equation for collapse intensity is the following:

$$\text{Collapse index} = 0,855998 - 0,045131 \times \text{Basic density}$$

There were no correlations between collapse index and all other variables studied.

After drying the wood was conditioned at 80°C and relative humidity of 80% or higher during 8h. Following this phase, other analysis showed that *E. saligna* had the better collapse recovery, although this species showed the greatest collapse index before conditioning.

The results presented by preventive treatments were not effective to decrease or to eliminate the collapse. The conditioning was the best method to recuperate collapsed woods.

1. INTRODUÇÃO.

A madeira, material orgânico de estrutura complexa e heterogênea, é altamente higroscópica e retrai ou incha de acordo com a variação de umidade do ambiente.

Essa troca de água entre o material e o meio ambiente é de suma importância, porque esse fenômeno afeta outras propriedades da madeira. O conhecimento dos mecanismos físicos que regem estes fenômenos é muito importante no comportamento da madeira em muitas fases do seu processamento, como a secagem racional.

A umidade da madeira quando recém cortada é elevada, o que de certo modo influi na sua utilização imediata. Sendo a resistência da madeira inversamente proporcional ao seu teor de umidade, o seu processamento final só deve ser efetuado com umidades inferiores a 20%.

Dentre os diversos benefícios decorrentes da secagem artificial da madeira antes da sua transformação em produtos, destacam-se a redução na sua higroscopicidade (JANKOWSKY, 1985) e a redução da movimentação dimensional a limites aceitáveis (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985) contribuindo de forma significativa na melhoria da qualidade do produto final.

Contudo, o processo de secagem artificial provoca o aparecimento de tensões internas na madeira, resultantes de contrações diferenciadas, podendo resultar em defeitos que desqualificam o material. Dentre esses defeitos destaca-se o colapso, caracterizado por uma retração anormal da madeira e que ocorre muito mais em

função de características físicas e anatómicas da própria madeira do que em função do processo de secagem.

O fenômeno da retração é geralmente baseado na combinação das contrações lineares manifestadas nas direções tangencial, longitudinal e radial. Apesar disso, colapso e contração não ocorrem dentro de uma mesma condição morfológica. Enquanto a contração não envolve a deformação das células e ocorre sempre abaixo do ponto de saturação das fibras, o colapso altera a forma visível da madeira e, em geral, ocorre durante a movimentação da água capilar.

A ocorrência do colapso durante um processo de secagem é um fator limitante para não permitir a adoção de técnicas aceleradas de secagem, devido a sensibilidade da movimentação estrutural e a conseqüente perda de madeira.

Deve-se ainda considerar que se a natureza complexa do problema for neutralizada ou minimizada, será possível contornar um dos principais obstáculos ao processamento de diversas espécies de madeira. Diante disso, o presente trabalho visou estudar diferentes técnicas que permitam neutralizar as tensões causadoras do colapso, resultando na possibilidade de melhor aproveitamento de diversas madeiras consideradas como de baixa qualidade devido à alta incidência desse defeito.

2. REVISÃO DE LITERATURA.

O processo de secagem de madeiras pode causar contrações anormais, caracterizando um defeito denominado colapso, que se desenvolve por ocasião da perda da água livre. Por isso, SKAAR (1972) e CHAFE (1986b) esclarecem que é necessário entender como ocorrem essas contrações para uma compreensão melhor na sua prevenção ou recuperação.

Colapso é o esmagamento interno das fibras em folhosas e traqueídeos em coníferas. Em células de vaso e de parênquima axial não ocorrem o colapso espontaneamente, mas podem ser distorcidos pela tensão associada das fibras ou dos traqueídeos (KUO e ARGANBRIGHT, 1978). O colapso também pode ser verificado em folhas de papel, durante um processo de secagem da celulose (WEATHERWAX, 1977).

O colapso é mais freqüente na direção tangencial e pode desenvolver-se devido a fatores relacionados com a própria madeira e/ou ao processo de secagem. Na primeira, é ocasionado talvez pela permeabilidade, densidade, tamanho, proporções ou arranjos da ultra estrutura da parede celular, variabilidade de árvores, etc. (KININMONTH, 1971 e 1973; ILIC e HILLIS, 1986). Na segunda, está associada a condições de altas temperaturas nas fases iniciais da secagem em estufa, de madeiras de baixa permeabilidade (FREITAS e PONCE, 1979), além da umidade relativa e duração da secagem.

Infelizmente, sérios problemas que afetam a qualidade e utilização de uma essência madeireira, como por

exemplo o eucalipto, são as características desfavoráveis na sua utilização nas indústrias de processamento mecânico, como as tensões de crescimento (BOYD, 1950), contrações por ocasião da secagem, colapso e fibras reversas (FAO, 1981). Kauman (1958) citado por SIAU (1971), encontrou que para a madeira de *Eucalyptus regnans*, as tensões de secagem são fatores significativos para o aparecimento do colapso. A tensão capilar foi reconhecida, contudo, como a principal causa. A intensidade do colapso varia em diferentes espécies do mesmo gênero (TINTO, 1957), como também sua procedência, e aparenta ser mais severo em árvores de eucalipto desenvolvidas em locais alagados (KAUMAN, 1988)¹.

A nível anatômico, as aberturas das pontuações nas paredes das fibras são uma das causas pelas altas tensões capilares. Aberturas pequenas estão relacionadas com a baixa permeabilidade da madeira e a alta tensão capilar, podendo ser agravada pelo processo de secagem.

O colapso está também relacionado com a quantidade de extrativos na madeira, visto que aparentemente obstruem as aberturas das pontuações, dificultando o movimento do ar nas células (BRAMHAL & WELLWOOD, 1976). Além do mais MEYER & BARTON (1971), esclarecem que apesar dos extrativos terem influência na formação do colapso, não foi possível avaliar em definitivo a importância dessas substâncias na ocorrência do defeito em *Thuja plicata* Donn. Estes resultados foram confirmados por ERICKSON (1968) que descreveu a relação entre colapso e extrativos para a mesma espécie.

Liquidambar styraciflua apresenta colapso mais constante em regiões escurecidas, onde estão presentes maiores quantidades de extrativos (HART, 1984), indicando que estas substâncias obstruíram as pontuações.

(1) KAUMAN, W.G. (CTB - Centre Technique du Bois, Paris)
Comunicação pessoal, 1988.

Em uma recente análise de distribuição e interrelacionamento do colapso e extrativos em eucaliptos e outras espécies, CHAFE (1986a) demonstrou que a relação

$$cv = PSF \times \rho \quad (1)$$

onde

cv = contração volumétrica, %;

PSF = ponto de saturação das fibras, %;

ρ = densidade básica, g/cm³.

é inexata em descrever a razão cv/ ρ , para os eucaliptos.

Isto também sugere que a contração em madeiras com baixa densidade básica envolve contração do lume (CHAFE, 1986a), considerando que a sua expansão acompanhe a contração em madeiras de alta densidade básica. Tal mudança no volume do lume pode ser modificada, contudo, pela presença de extrativos (CHAFE, 1987a). Essa contração do lume pode ser entendida como colapso, pois de acordo com SKAAR (1972), a mudança dimensional na madeira não é acompanhada pela movimentação do lume, devido o volume específico aparente da água adsorvida aumentar com o aumento do teor de umidade da madeira.

Enquanto a relação entre contração volumétrica e densidade básica nos eucaliptos antes do condicionamento é dependente da presença do colapso, em outras espécies de folhosas a contração volumétrica está correlacionada positivamente com densidade básica antes e depois do condicionamento (CHAFE, 1986a). É sustentado por CHAFE (1987a) que o alto teor de extrativos em eucaliptos pode ser, pelo menos parcialmente, responsável pela estabilidade relativa da contração volumétrica depois do condicionamento.

Diversos autores brasileiros estudaram os problemas de colapso de madeira de eucalipto, dentre os quais FREITAS e PONCE (1979) e Galvão (1976) e Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal do Paraná (1980) citados por SANTINI e TOMASELLI (1980), sem

entretanto haverem analisado as alterações na estrutura anatômica da madeira.

CAVALCANTE e TOMAZELLO F^o (1988), talvez iniciando a pesquisa a nível anatômico, analisaram as alterações anatômicas das espécies *Cedrela sp* e *Eucalyptus grandis* devido a ocorrência do colapso por ocasião da secagem. Concluíram que os elementos com maiores distorções foram os vasos e os parênquimas radial e marginal. Essas células foram deformadas em consequência de forças desenvolvidas durante o colapso, as quais segundo WILKES e WILKINS (1987), são restritas as fibras nas angiospermas.

2.1. Permeabilidade e Densidade

A permeabilidade da madeira é assunto de vários estudos, pois sua importância está estritamente ligada ao processamento da madeira. Pouco se conhece da difusão da umidade e aumento no fluxo de água na secagem, devido os métodos de medição diferirem consideravelmente (CHOONG et alii, 1974; SIMPSON, 1976b).

Por ocasião de um processo de secagem, existe um período em que a quantidade de água capilar que chega à superfície é menor do que a quantidade de água que se evapora dela, provocando um gradiente de umidade. Este gradiente é uma função da permeabilidade da madeira e do tempo de secagem.

A permeabilidade pode ser definida como a medida da facilidade de escoamento de um fluido através de um material poroso (SIAU, 1971). Normalmente, o fluxo de fluidos é governado pela lei de Darcy, ou seja:

$$K = Q L / A (\Delta P) \quad (2)$$

onde:

K = permeabilidade, cm³/cm.at.s;

Q = razão do escoamento, cm³/s;

L = distância em que é medido o fluxo, cm;

A = área da seção do material perpendicular à direção do fluxo, cm^2 ;

ΔP = diferencial de pressão, atm.

Porém, a equação de Darcy para ser aplicada a madeira, deverá atender algumas condições básicas (JANKOWSKY, 1986), sendo as principais:

- a) fluxo viscoso e linear, de forma que a vazão volumétrica seja diretamente proporcional ao diferencial de pressão aplicado;
- b) fluido homogêneo e incompressível;
- c) meio poroso homogêneo;
- d) não haja interação entre fluido e substrato;
- e) permeabilidade independente do comprimento da amostra na direção do fluxo.

Nota-se que as possíveis limitações apresentadas pela madeira serão a composição heterogênea do meio poroso e uma interação entre fluido e substrato.

Considerando que a permeabilidade atende então, a vazão volumétrica (Q) seguirá a Lei de Poiseuille,

$$Q = \frac{N \pi r^4 \Delta P}{8 \mu L} \quad (3)$$

onde

Q = vazão volumétrica, cm^3/s ;

N = números de capilares paralelos existentes na seção transversal da amostra;

r = raio médio do capilar, cm;

ΔP = diferencial de pressão, atm;

μ = viscosidade do fluido, at.s ;

L = comprimento da amostra, cm.

A permeabilidade por ser uma condição relacionada às aberturas das pontuações nas paredes celulares e transporte de água na árvore, tem importância na movimentação da água capilar (CHEN, 1975; FUMOTO et alii,

1984). Por isso, é importante saber que a variação de qualquer fator que procure encurtar a secagem deve ser feita cuidadosamente. Esse fato tem motivado diversos autores a pesquisar a permeabilidade da madeira. Dessa forma, foi medida para *Picea* sp e *Pinus* sp (PALIN e PETTY, 1981, 1983) e *Pinus caribaea* var *hondurensis* (JANKOWSKY e HENRIQUEZ, 1981), tendo sido concluído que um dos métodos viáveis para acelerar a secagem é a utilização de velocidades de circulação de ar elevadas, na remoção da água calilar, desde de que a madeira seja permeável.

Em um estudo preliminar para verificar a tendência ao colapso da madeira vaporizada de *Libocedrus decurrens* Torr., HOLMES e KOZLIK (1989), mostraram que os tratamentos a 100°C ou 76,6°C não ocasionaram colapso. Contudo, após vários testes concluíram que o tratamento empregado não acelerou a secagem nem reduziu a quantidade ou qualidade do colapso.

De igual modo BOONE (1984), estudando o comportamento de 12 espécies de folhosas em secagem a alta temperatura, concluiu que o defeito mais comum para todas foi rachas internas e apenas o *Populus deltoides* apresentou colapso.

NICHOLSON et alii (1972) encontraram uma forte interação na associação das tensões de crescimento e diversas propriedades de uma árvore de *Eucalyptus regnans*, como módulo de elasticidade, densidade básica e teor de lignina. Se a densidade é uma característica herdável, pode-se dizer que as tensões de crescimento associadas às características da madeira podem ser uma resposta genética às condições ambientais.

A derivação de um valor denominado taxa R (mudança no volume externo da madeira durante retração ou inchamento por mudança no peso do volume associado à água) e seu possível uso como um indicador de estabilidade dimensional para os eucaliptos (CHAFE, 1986a, 1987a), tem sido levado em consideração como índice de qualidade da madeira (CHAFE, 1987b).

Enquanto a densidade é um indicador bem

conhecido das propriedades da madeira, não o é satisfatório para os eucaliptos, especialmente com relação à retração. CHAFE (1987b) concluiu que a alta correlação observada entre durabilidade e densidade sugere que R daria uma boa indicação da qualidade da madeira.

2.2. Tensão Capilar e Tensão Hidrostática.

Duas teorias procuram explicar o fenômeno colapso. Tiemann (1915), admitiu que para haver colapso era necessário que as células estivessem ocupadas com água sem a presença de bolhas de ar, provocando tensões hidrostáticas nos lumes celulares; enquanto Stamm (1946), propôs que para uma peça de madeira úmida sujeita à secagem violenta existiria uma perda de água superficial muito rápida provocando altíssima compressão na parte interna (CARVALHO, 1957). Em uma ampla análise do colapso, KAUMAN (1964) conclui que a teoria da tensão capilar de Tiemann é correta. Contudo ERICKSON (1968) esclarece que esta teoria não é universalmente aceita para todos os colapsos. Este ceticismo é entendido quando se considera a natureza e ocorrência de bolhas de ar (HART *et alii*, 1974).

A característica da tensão superficial é a existência de uma interface gás-líquido, como por exemplo ar-água. Pode-se definir tensão superficial como a energia por unidade de área ou energia específica. Devido a tensão superficial, uma quantidade de líquido procurará manter a menor área superficial possível em contato com o gás, e vice-versa. Para aumentar-se a área de uma interface é preciso trabalho, e toda energia pode ser recuperada quando a área é novamente reduzida.

A tensão superficial (τ) também pode ser definida como o trabalho (ω) necessário para aumentar a área (A) da superfície, ou seja,

$$\tau = d\omega / dA = (p_0 - p_1)dv / dA \quad (4)$$

onde:

τ = tensão superficial, N/cm;

$d\omega$ = trabalho requerido, J;

dA = mudança de área, cm^2 ;

dv = mudança de volume, cm^3 ;

p_0 = pressão na fase gasosa, N/cm^2 ;

p_1 = pressão na fase líquida, N/cm^2 .

como
$$v = \frac{4}{3} \pi r_1^3 \quad \therefore \quad dv = 4 \pi r_1^2 dr_1 \quad (5)$$

$$A = 4 \pi r_1^2 \quad \therefore \quad dA = 8 \pi r_1 dr_1 \quad (6)$$

então, pela substituição, teremos:

$$\tau = (p_0 - p_1) r_1 / 2 \quad \therefore \quad (p_0 - p_1) = 2\tau / r_1 \quad (7)$$

onde r_1 é o raio da interface ar-líquido, em cm.

Se o menisco é esférico então $r_1 = r / \cos \theta$.

Assim, $p_0 - p_1 = 2\tau \cos \theta / r$, onde θ é o ângulo de umectação.

Figura 1 a) Líquido de capilar úmido

b) Líquido de capilar não úmido

A subida ou descida de líquidos em um capilar é também resultado da tensão superficial. Esta suposição será válida para tubos com pequenos diâmetros capilares.

Considere um líquido em um tubo capilar conforme Figura 1. Nota-se que a pressão é sempre mais alta no lado côncavo do menisco onde está localizado o centro do raio de curvatura. No caso de água num tubo de vidro, a pressão líquida " p_l " é menor do que a pressão do ar " p_o ". Se o raio do tubo capilar é suficientemente pequeno, " p_l " pode ter um valor negativo e esta pressão é chamada de "tensão capilar". A tensão capilar resultante da secagem de madeiras pode ser reduzida pela substituição da água na madeira por um líquido com tensão superficial mais baixa. A tensão superficial da água é de $72,75 \times 10^{-5} \text{ N/cm}$, porém existem outros solventes com a tensão superficial de aproximadamente 1/3 ao da água, como por exemplo a acetona ($23,32 \times 10^{-5} \text{ N/cm}$), etanol ($22,32 \times 10^{-5} \text{ N/cm}$), metanol ($22,6 \times 10^{-5} \text{ N/cm}$), pentano ($16,0 \times 10^{-5} \text{ N/cm}$) e vários outros.

CECH (1968) concluiu que rachas internas e colapso em *Quercus rubra* L. e *Betula alleghaniensis* Brett. podem ser eliminadas anteriormente à secagem, se o teor de umidade nas amostras for trocado por soluções de álcool n-propil e etil, nas concentrações de 70% e 50%, respectivamente. CHUDNOFF e TISCHLER (1963) e SIMPSON (1984b) esclarecem que geralmente o colapso pode ser a maior causa de rachas superficiais e internas, distorções, etc.

A tensão na água imediatamente abaixo da superfície de um menisco ar - água causa uma redução na pressão de vapor d'água, a qual está relacionada ao raio " r " do menisco. A equação que descreve quantitativamente esta redução na pressão de vapor é conhecida como equação de Kelvin.

$$\log_e (p_o/p) = (2\tau/M) / \rho R T r \quad (8)$$

onde

τ = tensão superficial, N/cm^2 ;

M = peso molecular, g/mol;

ρ = densidade, g/cm^3 ;

R = constante universal dos gases, $(N \times cm)/(mol \times ^\circ K)$;

T = temperatura absoluta, $^\circ K$;

r = raio da superfície curva, cm.

Combinando-se as equações 7 e 8, tem-se:

$$(p_0 - p_1) = (\rho RT / M) \log_e (p_0 / p) \quad (9)$$

onde:

P = tensão total do líquido, N/cm^2 ;

ρ = densidade, g/cm^3 ;

R = constante universal dos gases, $(N \times cm)/(mol \times ^\circ K)$;

T = temperatura absoluta, $^\circ K$;

M = peso molecular, g/mol;

p = pressão de vapor, N/cm^2 ;

p_0 = pressão de vapor saturado, N/cm^2 .

Nota-se que a equação da tensão capilar (equação 7) e a equação de Kelvin (equação 8) descrevem fenômenos similares, em que relacionam a pressão relativa de vapor (p_0/p_1) à diferença na pressão hidrostática entre a água e o capilar.

Por ocasião da secagem de madeiras com umidade acima do ponto de saturação das fibras, a água capilar livre nas cavidades celulares é removida através das pontuações nas paredes celulares. O menisco formado na interface ar-água em uma destas aberturas provocará a tensão hidrostática na água. Se essa tensão for superior a resistência à compressão da parede celular, ocorrerá o colapso dessa célula.

Para que a tensão hidrostática possa atuar na parede celular por ocasião da evaporação da água livre

contida no lume da célula, é necessário que o mesmo esteja totalmente cheio de água e que não contenha bolhas de ar, pois aliviaríamos as tensões. Esta condição é confirmada na secagem de *Eucalyptus regnans* em que o colapso geralmente começa a um teor de umidade em torno de 100 a 120 % (KAUMAN, 1964).

As gymnospermas sofrem menos colapso do que as angiospermas, talvez devido a estrutura relativamente porosa das membranas de pontuações. Porém, até o presente não existem evidências seguras para esclarecer esta diferenciação (CHEN, 1970; PETTY e PURITCH, 1970; KININMONTH, 1972).

2.3. Mecanismo do Colapso.

Segundo SIAU (1971), o mecanismo do colapso (Figura 2) na madeira devido a secagem, foi primeiramente descrito por Christian Skaar e faz parte de um texto não publicado. Este foi baseado nos estudos de Hawley em 1931.

O fator preponderante na secagem de madeiras com tendências ao colapso é o problema de remoção da água capilar contida na forma líquida nas cavidades celulares. Muitas vezes, é necessário empregar baixas temperaturas nos primeiros estágios de secagem por causa dos riscos associados com a remoção muito rápida da água capilar a elevadas temperaturas. Portanto, para executar um programa de secagem com sucesso e rapidez, é importante compreender exatamente como a água capilar se movimenta de célula para célula no interior da madeira durante o processo de secagem.

A água capilar, também chamada água livre, está contida nas cavidades celulares e nas pontuações que unem as células na madeira. Por esta razão, esta água só ocorre em madeiras com teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras.

As forças capilares são as que causam a ascensão de líquidos em tubos pequenos. Estas são mostradas

na figura 2a. A tensão superficial da interface ar - água, causa uma ascensão da coluna de líquido no capilar (mostrada pela seta que aponta para cima). Na condição de equilíbrio, a água exerce uma tensão igual na superfície na direção oposta, como indica a seta em negrito. Esta tensão da água exerce uma sucção nas paredes celulares do tubo, bem como na superfície.

As forças capilares são comandadas por $(p_0/p_1)=2\tau/r$ que estabelece que a tensão capilar (p_0/p_1) é diretamente proporcional a tensão superficial τ da interface ar-água e inversamente proporcional ao raio da curvatura r . Para simplificar, o efeito da gravidade será desprezado.

A figura 2b mostra uma superfície capilar a partir da qual a água líquida é evaporada. O raio da curvatura R_1 é grande neste estágio, e por esta razão a tensão capilar é pequena. Esta ocorre por todo o capilar e exerce uma força nas paredes internas do tubo bem como no menisco ar-água. Com a contínua evaporação, o raio da curvatura diminui até alcançar o raio do orifício de evaporação, conforme figura 2c. A tensão capilar aumenta como é indicado pelo comprimento aumentado das setas em negrito. Continuando a evaporação, resulta num aumento capilar e uma diminuição na tensão capilar, de acordo com a figura 2d. É evidente que a tensão máxima ocorre quando o raio de evaporação torna-se igual ao raio da abertura, como é notado na figura 2c. As figuras 2e a 2 l, mostram como se supõe que ocorre a remoção da água capilar na madeira verde. Estas células, inicialmente cheias de água, com exceção de duas bolhas de ar (figura 2e). Percebe-se que as bolhas são de tamanho diferentes. A secagem ocorre somente na superfície superior da madeira, a qual está exposta ao ar. As células lenhosas circundam os outros três lados do diagrama. A medida que a água capilar evapora a partir das células expostas, formam-se meniscos curvos nas interfaces ar-água. A tensão capilar é menor neste estágio de secagem devido aos raios relativamente grandes nas superfícies de secagem.

Quando as células da superfície estão vazias, surgem superfícies de evaporação nas aberturas das pontuações (figura 2f). Os raios da superfície de evaporação estão reduzidos e assemelham-se ao raio da bolha grande. Como os raios tornam-se menores, a tensão capilar no sistema celular aumenta. Esta tensão de sucção age nas paredes celulares e nos meniscos ar-água de todo o sistema. O aumento da tensão causa expansão das bolhas de ar. Uma vez que a bolha de ar maior é mais fraca, se expande primeiro. Quando se expande a célula é esvaziada, conforme figura 2h. A água da célula desloca-se principalmente através da célula adjacente para a superfície de evaporação. Embora, é possível que uma célula do centro da peça de madeira perca sua água capilar antes do que uma que está próxima da superfície. Isto pode explicar a presença de bolhas de água em madeira que foi parcialmente seca.

Depois que a bolha grande se expande preenchendo a célula, as curvaturas superficiais são novamente reduzidas, ao passo que os meniscos retraem-se dentro das aberturas das pontuações. Mais uma vez a tensão no sistema aumenta até ser grande o suficiente para forçar a expansão da bolha menor. Como esta bolha se expande (figura 2i), a água que ela desloca migra através da parede da célula adjacente e evapora para a superfície.

Como a evaporação continua (figura 2j) a tensão na água capilar eleva-se ainda mais do que antes, já que não existem bolhas de ar perto para aliviar a tensão de expansão. Esta tensão de sucção é exercida nas paredes celulares. Este valor máximo de tensão capilar é determinado pelo tamanho da maior abertura no sistema, de acordo com a equação da tensão capilar. Geralmente a madeira é capaz de resistir a tensão capilar máxima. Neste caso, o menisco se retrai da célula vazia para dentro da célula cheia através da abertura da pontuação. Quando a superfície (figura 2k), resulta num aumento gradual no raio de curvatura acompanhado por uma redução na tensão capilar. A água evapora-se para a atmosfera e desloca-se para fora da superfície da madeira na forma de vapor, esvaziando

deste modo a célula (figura 2 l). As células mais profundas na madeira perdem sua água capilar de maneira semelhante. Sob certas condições, as forças de tensão capilar podem causar colapso nas células cheias de água na madeira, se as aberturas das pontuações são bastante pequenas e se a parede celular é fraca. Uma única célula ou um grupo de células podem sofrer colapso (figuras 2m e 2n). Este efeito é mais pronunciado a temperaturas mais altas, visto que a parede celular é grandemente enfraquecida com o aumento da temperatura.

Figura 2. Ilustra a evaporação de água livre na madeira (Original de SKAAR, 1972).

2.4. Métodos de Prevenção

Uma das principais metas na pesquisa da secagem de madeiras é reduzir o tempo de secagem, sem

influenciar no processamento final da madeira. Tem-se utilizado vários tratamentos de pré-secagem na tentativa de aumentar a razão de secagem, por exemplo: pré-vaporização, pré-congelamento, pré-compressão e vários trabalhos de substituição da água da madeira por líquidos orgânicos. A pré-vaporização ou pré-aquecimento a vapor é o tratamento mais benéfico na redução do tempo de secagem (SIMPSON, 1982b, CHAFE, 1985, ILIC & CHAFE, 1986) e não depende de equipamentos sofisticados para a operação (BAI & GARRAHAN, 1984).

SIMPSON (1975, 1976a) esclarece que a permeabilidade mais importante na secagem, provavelmente é a permeabilidade transversal. Um aumento na permeabilidade longitudinal sugere que a permeabilidade transversal pode também ser aumentada. Por outro lado, o efeito da vaporização sobre a difusão do vapor d'água não é tão bem definido como na permeabilidade, podendo ser efeito de uma mudança física ou anatômica. Esta mudança poderá ocasionar fendas, rachas na parede celular ou nas membranas das pontuações ou ainda a remoção de incrustação nas pontuações.

É também possível que na vaporização, alguns gases sejam dissolvidos na água livre e saiam na solução, formando-se bolhas de ar que criam mudanças na distribuição de forças que promovem o escoamento de água livre.

Pouco tem-se estudado sobre o mecanismo pelo qual a vaporização aumenta a razão de secagem. MACKAY (1971) e KININMONTH (1973), encontraram aumento nos coeficientes de difusão depois da vaporização em folhosas da Austrália e Nova Zelândia, respectivamente. Enquanto Misilo (1971) citado por SIMPSON (1975, 1976a) não encontrou diferenças significativas para a faia vaporizada e não vaporizada.

Por outro lado KUBINSKY & IFJU (1974) encontraram que a vaporização de *Quercus rubra* por períodos acima de 96 horas causaram excessiva contração, além de ter reduzido o peso específico, a densidade e o teor de umidade de equilíbrio.

Em outro estudo, KININMONTH (1971) mostrou que a vaporização mudou a natureza de extrativos no lume das células e nas pontuações. Antes da vaporização os extrativos formavam uma camada contínua e, após a vaporização, a camada tornou-se rachada e geralmente descontínua. Sua interpretação foi que a parede da célula ficou mais acessível à água e assim o movimento da umidade foi aumentado.

NOCK (1974) estudando a influência do tratamento a vapor em algumas propriedades físicas da madeira de *Ocotea porosa* constatou que há superposições de tensões e forças formadas durante a vaporização. Quando a madeira era retirada do tanque de vaporização, ocorriam defeitos como colapso, rachaduras, etc. Para evitá-los Vorreiter (1949) (NOCK, 1974) recomenda um período de aclimação de aproximadamente 1/6 a 1/5 do tempo de tratamento, após vaporização.

Além dos tratamentos já citados, NEYLON (1977) avaliou a secagem ultrasônica como um pré-tratamento e chegou à conclusão de que este não é uma técnica utilizável para o *Eucalyptus delegatensis*, embora, talvez seja possível para espécies permeáveis. CHEN e COOPER (1974) utilizando *Juglans nigra* (black walnut) e CHRISTENSEN e NEYLON (1977) utilizando *E. delegatensis*, chegaram a conclusão semelhante em um tratamento de pré-congelamento seco. Embora o resultado não tenha dado informações valiosas, concluíram que a permeabilidade aumentara.

ERICKSON *et alii* (1971), mostraram em ordem decrescente de efetividade os seguintes tratamentos: pré-congelamento, pré-vaporização seguido de pré-congelamento, pré-congelamento seguido de pré-vaporização, ou testemunha ou pré-vaporização. Em muitos casos as amostras que foram somente pré-vaporizadas contraíram mais do que as testemunhas.

O tratamento por compressão transversal para melhorar o comportamento da secagem foi estudado por CECH e GOULET (1968). Encontraram que o efeito pronunciado do

tratamento sobre o colapso, rachas internas e contração é, aparentemente, bom. Contudo, esclarecem que vários aspectos do efeito da compressão transversal sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira devem ser estudados com maiores detalhes.

ELLWOOD e ECKLUND (1963a), estudaram o efeito de líquidos orgânicos sobre o colapso de madeira de *Quercus kelloggii* Newb. e *Arbutus menziesii* Pursch e chegaram à conclusão de que a retração mínima das duas espécies foi obtida com a completa troca da água da madeira por líquidos orgânicos. Neste caso, o colapso foi eliminado devido a troca por líquido orgânico quimicamente neutro miscível em água (ELLWOOD et alii, 1963): porém, tendo a premissa de que a tensão superficial do líquido é um fator determinante.

A temperatura de secagem tem um efeito comparativamente leve sobre a retração total nas amostras tratadas, embora em geral, o colapso das amostras controle aumentassem com a temperatura, de acordo com ELLWOOD e ECKLUND (1963b). Entretanto, os tratamentos de troca permitem a secagem em temperaturas elevadas sem colapso ou rachaduras.

2.5. Métodos de Recuperação

Os experimentos realizados com madeiras de eucalipto, tem confirmado a técnica ou tratamento que permite "recuperar" a madeira do colapso através da vaporização, que é tradicionalmente usada para esterilizar a madeira e aliviar as tensões de secagem. A madeira adsorve a umidade por este tratamento e suas paredes celulares incham, restaurando a forma das células. KOLLMANN e CÔTÉ (1968) esclarecem que a ocorrência de um segundo colapso durante a secagem é pouco improvável, considerando que i) as paredes celulares da madeira uma vez seca, são mais permeáveis; ii) as células não ficam completamente saturadas com água pela vaporização em razão da formação de

bolhas de ar.

Por outro lado MACKAY (1976) verificou que a contração excessiva de *Populus tremuloides* e *P. balsamifera* foi devido a bolsas de umidade interna. Por ocasião da secagem à temperatura elevada houve a formação de fendas internas e deformação da superfície da madeira.

Os efeitos da pré-vaporização e condicionamento sobre o *Eucalyptus regnans* e *Ceratopetalum apetalum*, segundo MACKAY (1971), são duplos. Provavelmente, o primeiro provoque uma mudança química através de uma hidrólise ácida causando a recristalização da celulose e realocação dos extrativos. O segundo, talvez através da recuperação de células individuais, aumente a porosidade pela expansão da cavidade da parede celular e aberturas de pontuações através da qual a difusão ocorre. Em termos de efetividade, encontrou no condicionamento o melhor dos dois tratamentos.

Apesar da temperatura alta degradar a madeira e em muitos casos ser severa (KAUMAN, 1964), mesmo assim BISSET e ELLWOOD (1951), GALVÃO (1976), WILEY (1977) e CAMPBELL (1978) indicam o tratamento à vapor aproximadamente à 100°C, durante o intervalo de 8 à 13 horas.

Por outro lado, o efeito da secagem à vácuo a 177°C de madeiras de folhosas (SIMPSON, 1982a, 1984a), mostra a maior presença do colapso em amostras de *Quercus rubra* L do que em *Quercus alba* L. A provável explicação para a pobre performance do *Quercus alba* L, tenha sido talvez, a presença de tilose e seu efeito na diminuição da permeabilidade.

Lutz (1952) citado por CARVALHO (1957) tratou blocos de madeira colapsada, fervendo-a em água por 5 (cinco) horas. Porém, os blocos não apresentaram uma recuperação desejada, mostrando apenas um condicionamento imperceptível. Entretanto, o *Eucalyptus globulus* além de obter um bom condicionamento com vapor aquecido, por 5 (cinco) horas, não teve sua trabalhabilidade afetada (TINTO, 1957).

KOBAYASHI (1985) estudando o comportamento da madeira *Thuja plicata* em secagem por microonda e secagem a ar quente, encontrou que as retrações tipo colapso surgidas são bem semelhantes, apesar dos sistemas de secagem serem diferentes. Na secagem a ar quente, as células deformadas estão concentradas na superfície, enquanto no outro processo a concentração é no centro.

Em um estudo separado, o mesmo autor (1986) recuperou a mesma madeira de um severo colapso, através do condicionamento por 16h. Durante este processo, a madeira aumentou a umidade sendo necessária outra secagem em estufa. Porém, por ocasião desta, ocorreu novamente o colapso, ou seja, o condicionamento não foi efetivo para a *Thuja plicata*.

3. MATERIAIS E MÉTODOS.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas espécies de madeiras com conhecida tendência ao colapso, aspecto que, aliado às tensões de crescimento e de secagem, concorre para inviabilizar a utilização das mesmas na produção de madeira serrada.

No presente estudo utilizou-se madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, obtidas de uma floresta localizada na Fazenda Santa Terezinha I, município de Bofete, de propriedade da Eucatex S.A., a 23°03' de latitude sul e 48°15' de longitude este e a uma altitude de 530 m. As sementes utilizadas na formação dessas florestas foram procedentes da Champion Papel e Celulose S.A. (*E. grandis*) e do Instituto Florestal do Estado de São Paulo (*E. saligna*).

Os talhões de *E. grandis* e *E. saligna* foram plantados em solos do tipo areia quartzosa, em maio de 1979 e junho de 1973, respectivamente. Ambas foram plantadas no espaçamento de 3,0 x 1,5 m. As árvores foram cortadas no mês de junho de 1990, época do inverno. Possuíam em média diâmetros de, aproximadamente, 35,0 cm, variando de 31,5 a 40,0 cm.

Escolheu-se estas espécies por serem as mais plantadas no estado de São Paulo e por apresentarem as características desfavoráveis quanto ao comportamento durante a secagem. Das espécies selecionadas foram obtidas 10 (dez) árvores, sendo 5 (cinco) para cada espécie. Esse procedimento visou abranger a variação de características físico-mecânicas que normalmente são verificadas dentro e entre árvores.

De cada árvore derrubada foi obtida 1 (uma) tora de, aproximadamente, 2,60m de comprimento. Para evitar rachas de topo foi realizado um anelamento com profundidade de 1/3 do raio da árvore e a 30,0cm acima do corte de derrubada. Logo após a derrubada foi realizado novo anelamento a 2,0m de distância do primeiro e novo corte a 30,0cm.

As toras foram transportadas até a serraria do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, onde foram desdobradas em tábuas com 2,5 cm de espessura por 35,0cm de largura. De cada tora (árvore) escolheu-se uma tábua tangencial para posterior corte e retirada dos corpos de prova.

Foram escolhidas as tábuas cortadas tangencialmente porque esse tipo de tábua apresenta altos valores na perda de massa d'água por unidade de tempo (BRASIL, 1981), realçando os defeitos que venham a ocorrer durante a secagem. De cada tábua, foram cortadas 5 (cinco) amostras de 40,0 x 35,0 x 2,50cm, as quais foram submetidas aos diferentes tratamentos para prevenção do colapso, conforme Tabela 1. De cada amostra, após tratamento, foram retirados 18 (dezoito) corpos de prova para os ensaios físico - mecânicos, 5 (cinco) para os ensaios de densidade básica, 10 (dez) para os ensaios de resistência à compressão verde e seca, 3 (três) para os ensaios de permeabilidade e 8 (oito) para os ensaios de secagem, conforme esquemas das Figuras 3 e 4.

Tabela 1. Condições e tempo de tratamento.

Tratam.	Sistema	Temper. °C	Produto	Concent. g/l	Tempo h
T 1	Vapor amoniacal	100	NH ₄ Cl	5	16
T 2	Soluc.amoniacal	75	NH ₄ Cl	5	18
T 3	Soluc.amoniacal	50	NH ₄ Cl	5	20
T 4	I N C I S A M E N T O				
T 5	T E S T E M U N H A

Figura 3. Esquema demonstrativo a ser empregado na avaliação do colapso (dimensões em cm).

Figura 4. Localização e forma dos corpos de prova (dimensões em cm).

Os tratamentos foram casualizados dentro das tábuas de uma mesma espécie, podendo ocorrer que a parte "A" de uma tábua não tenha o mesmo tratamento da parte "A" de outra tábua.

Para definir melhor os tratamentos químicos, efetuou-se um pré-teste, onde foram analisados os tratamentos com água, cloreto de amônio e álcool à várias temperaturas. Os tratamentos mais promissores na prevenção do colapso, por ocasião do pré-teste, foram os efetuados com cloreto de amônio.

O tratamento T1 consistiu em vaporizar as amostras por um período de 16 horas. As amostras foram colocadas em um tanque de cozimento contendo água com cloreto de amônio, fora do contato dessa solução e aquecidas a 100°C (Figura 5).

Para os tratamentos T2 e T3, as amostras foram submersas na mistura e estas foram aquecidas a 75°C por 18h e a 50°C por 20 h, respectivamente.

Figura 5. Tanque onde realizou-se os tratamentos T1, T2 e T3.

O tratamento por incisamento consistiu em abrir nas duas faces da tábua, pequenos sulcos no sentido da grã de, aproximadamente, 1,0 cm de comprimento por 0,5 a 0,8 cm de profundidade, com espaçamento entre si de 1,0 cm (Figura 6). Esse tipo de tratamento é empregado pelo FORINTEK (CLARKE, 1988) no processamento de lâminas para compensado, melhorando de maneira significativa a sua tratabilidade e sua secagem.

As amostras do tratamento T5 não receberam nenhum tipo de tratamento preventivo, compondo o grupo testemunha. Os ensaios para determinação das propriedades físicas e mecânicas referentes ao comportamento da madeira, são especificadas pelo Método Brasileiro (MB-26, 1940), que fornece dimensões, quantidade, maneira de extração de tora e método de ensaio dos corpos de prova (ABNT, 1940).

A determinação da compressão, densidade e permeabilidade destinou-se à obtenção de dados comparativos entre os diferentes tipos de tratamentos que foram empregados, com a tentativa de caracterizar o efeito desses

tratamentos sobre as propriedades físico-mecânicas da madeira que estão relacionadas à ocorrência do colapso.

Figura 6. Ferramenta utilizada no processo de incisamento.

O estudo da compressão paralela às fibras teve por fim determinar o limite de resistência da madeira quando submetida à compressão axial. Consistiu em aplicar-se uma carga até a ruptura do corpo de prova de 3,0x2,0x2,0 cm. A velocidade de sollicitação adotada foi de 100,0 kgf/cm².min.

A densidade básica de uma peça de madeira é a relação entre sua massa seca e volume saturado. De acordo com TOMAZELLO FILHO, (1988), a densidade básica das madeiras pode atingir valores de até 1,40 g/cm³, em função da sua estrutura anatômica e composição química. A variação da densidade básica das amostras foi verificada antes e após cada tratamento.

A metodologia para o cálculo da densidade básica foi o da balança hidrostática e baseou-se no método descrito por CARPIM e BARRICHELO (1983).

A partir dos valores obtidos, calculou-se a densidade básica, dada pela seguinte expressão:

$$db = \frac{MS}{MU - MI} \quad (10)$$

onde,

db = densidade básica, g/cm³;

MS = massa absolutamente seca, g;

MU = massa úmida, g;

MI = massa imersa, g.

A determinação da permeabilidade longitudinal da madeira em relação ao ar, foi determinada anulando-se a vazão do ar através do sentido longitudinal da amostra quando submetida a um diferencial de pressão.

A Figura 7 ilustra um esquema de medição da vazão.

Figura 7. Esquema utilizado na determinação da permeabilidade da madeira.

O corpo de prova de 1,5cm de diâmetro por 5,0cm de comprimento, com as laterais impermeabilizadas com resina sintética transparente, tem sua face inferior dentro de um recipiente fechado e submetido à pressão reduzida

(vácuo), enquanto que a face superior está em contato com o ar à pressão ambiente.

O diferencial de pressão promove o fluxo de ar através da amostra, cuja intensidade é medida com o auxílio de um rotâmetro. Quando o volume do ar que se escoou pela amostra for constante em função do tempo de deslocamento, tem-se o fluxo em regime permanente ou estado-estável. Nesse momento registrava-se a vazão, o diferencial de pressão e a temperatura. Esse procedimento baseou-se no método utilizado por JANKOWSKY (1986).

Os ensaios de secagem consistiram na exposição das amostras a quatro diferentes condições de temperatura e umidade relativa, descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Condições de secagem a que foram submetidas as amostras.

Secagem	T °C	UR %
S ₁	60	80
S ₂	45	80
S ₃	30	80
S ₄	AO A R L I V R E	

Os 8 (oito) corpos de prova com dimensões individuais de 2,5x5,0x12,0cm, foram divididos em quatro grupos iguais e cada grupo foi submetido a uma das condições de secagem. As secagens S₁, S₂ e S₃ foram realizadas em uma estufa Hildebrand (Figura 8), modelo HD 4004, com controle semi-automático de temperatura e umidade relativa e com circulação forçada de ar, fixada em 1,0 m/s. Devido a dimensão reduzida dos corpos de prova, tomou-se o cuidado de impermeabilizar as extremidades com tinta betuminosa resistente a água.

A perda de massa das amostras foi acompanhada através de pesagens diárias em balança semi-analítica, com precisão de 0,01 g, assim como foi realizada a verificação de defeitos de secagem em todas as amostras.

Figura 8. Estufa Hildebrand utilizada nas secagens S₁, S₂ e S₃.

O acompanhamento da perda de umidade das amostras foi feito de acordo com a equação,

$$U_a = (M_a (U_i + 100) / M_i) - 100 \quad (11)$$

onde:

U_a = teor de umidade da amostra teste em um instante qualquer, %;

M_a = massa da amostra teste nesse mesmo instante, g;

U_i = teor de umidade inicial da amostra teste, %;

M_i = massa inicial da amostra teste, g.

O teor de umidade inicial foi determinado pelo método gravimétrico, conforme metodologia descrita em GALVÃO e JANKOWSKY (1985), e calculada com base na equação,

$$U = ((M_u - M_s) / M_s) \times 100 \quad (12)$$

onde:

U = teor de umidade, %;

Mu = massa úmida, g;

Ms = massa seca, g.

As dimensões foram aferidas com paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm, antes e após as secagens, assim como foi feita uma avaliação quanto a ocorrência do colapso de acordo com a Figura 9.

Figura 9. Esquema demonstrativo da medição do colapso, adaptado de Terazawa (1965), segundo BRANDÃO (1989).

Como a característica externa do colapso é a retração irregular da peça de madeira, o método utilizado para calcular o índice do colapso foi através da diferença entre a retração colapsada (equação 13a) e retração normal (equação 13b), como uma forma de poder quantificar o efeito provocado pela retração do tipo de colapso.

$$R_c = (1 - d_c/d_i) \times 100 \quad (a) \quad R_n = (1 - d_n/d_i) \times 100 \quad (b) \quad (13)$$

onde:

R_c = retração colapsada, %;

R_n = retração normal, %;

d_c = dimensão colapsada, %;

d_n = dimensão normal, cm.

d_i = dimensão inicial, %.

Esse índice foi calculado de acordo com a equação 14.

$$IC(\%) = R_c - R_n \quad (14)$$

onde

IC = índice do colapso, %;

Rc = retração colapsada, %;

Rn = retração normal, %.

Após as secagens foi realizada uma quantificação do colapso, analisando-se o comportamento dos corpos de prova em função dos tratamentos aplicados. Os corpos de prova foram submetidos a um condicionamento por 8 horas, a 80°C de temperatura e umidade relativa superior a 80%, visando avaliar o efeito dessa fase (condicionamento) na recuperação do colapso. O condicionamento é caracterizado pela eliminação de tensões internas provocadas pelo processo de secagem.

Para melhor interpretação dos resultados obtidos efetuou-se a análise da variância para os valores do índice do colapso (medidos antes e depois do condicionamento), densidade básica, permeabilidade e resistência à compressão (verde e seca). Estudou-se também as possíveis correlações entre essas variáveis.

Para a análise da variância, os dados do índice do colapso e densidade básica foram transformados em $\sqrt{x}$, enquanto os dados da permeabilidade foram transformados em $\sqrt{\text{arc Tg } x}$, para torná-los mais homogêneos. Para a comparação entre médias dos tratamentos foi usado o teste Tukey aplicado aos níveis de 1 e 5% de probabilidade.

A análise de variância seguiu o delineamento inteiramente casualizado, enquanto que as possíveis correlações entre variáveis foram testadas através da regressão linear simples, com modelo geral:

$$Y = a + bx + c \quad (15)$$

onde,

Y = colapso;

a e b = parâmetros da equação de regressão;

x = variável de possível correlação;

c = erro.

As análises foram feitas pelo método ANOVA (Analysis of variance), componente do programa SAS (Statistical Analysis System).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Como o principal escopo deste estudo foi a prevenção do colapso por meio de tratamentos anteriores à secagem, decidiu-se, para facilitar a avaliação e a análise dos resultados obtidos, apresentar inicialmente a quantificação do colapso e os valores das propriedades físicas e mecânicas para, posteriormente, discutir o efeito dos diversos fatores na ocorrência do colapso, principalmente espécie, tratamento e secagem.

4.1. Quantificação do Colapso

A Tabela 3 apresenta o tempo de secagem, as condições de umidade final, retrações e índice do colapso, onde observa-se que, em todos os tratamentos e métodos de secagem, houve colapso em níveis acentuados e, a tendência das duas retrações, normal e colapsada, é aumentar com o aumento da temperatura.

A retração normal foi medida de acordo com a metodologia descrita na Figura 9. Porém, por ocasião das medições, tornou-se um tanto difícil distinguir a retração normal da retração colapsada em algumas amostras. Isto se deve ao fato de que, provavelmente, o corpo de prova tenha colapsado por inteiro, em função de suas dimensões reduzidas.

Segundo CHAFE (1985), a susceptibilidade ao

colapso da madeira pode ser verificada através de uma simples medida de retração volumétrica total. Além disso, valores para o colapso podem ser algumas vezes superestimados ou subestimados, dependendo do observador e do instrumento de medição utilizado.

Tabela 3. Condições de secagem e quantificação das retrações normal e colapsada para os eucaliptos.

Tratamentos e	Parâmetros	CONDIÇÕES				DE		SECAGEM	
		AR		30°C		45°C		60°C	
		G	S	G	S	G	S	G	S
T ₁	t	44	44	13	13	9	9	8	8
	u	11,7	12,4	12,1	13,6	10,1	11,1	10,0	9,3
	Rn	3,87	5,51	2,95	5,26	4,12	6,61	5,11	7,26
	Rc	4,79	6,45	3,59	7,16	5,14	9,05	6,72	10,23
	C	0,92	0,94	0,64	1,90	1,02	2,44	1,61	2,97
T ₂	t	44	44	13	13	9	9	8	8
	u	11,5	12,3	11,1	15,9	10,3	11,5	9,64	9,73
	Rn	3,27	4,78	3,10	6,36	3,88	7,88	4,61	8,84
	Rc	4,28	5,54	3,70	8,45	4,53	9,75	6,21	13,03
	C	1,01	0,76	0,60	2,09	0,65	1,87	1,60	4,19
T ₃	t	44	44	13	13	9	9	8	8
	u	11,4	12,5	10,1	13,8	9,6	10,7	9,3	9,1
	Rn	3,14	5,64	2,85	4,23	4,04	5,08	6,04	8,58
	Rc	4,40	5,87	3,36	5,11	4,97	6,88	8,29	10,20
	C	1,26	0,23	0,51	0,88	0,93	1,80	2,25	1,62
T ₄	t	44	44	13	13	9	9	8	8
	u	11,7	12,6	11,8	14,4	10,8	10,4	10,1	9,8
	Rn	4,61	4,55	4,06	5,08	4,06	6,25	4,57	8,05
	Rc	5,31	5,85	4,61	7,01	5,35	7,45	6,73	10,37
	C	0,70	1,30	0,55	1,93	1,29	1,20	2,16	2,32
T ₅	t	44	44	13	13	9	9	8	8
	u	12,0	13,3	13,1	14,5	10,5	11,6	10,1	10,3
	Rn	5,96	4,95	3,10	4,75	5,31	7,19	5,06	7,29
	Rc	6,88	5,94	4,37	7,43	6,01	8,88	6,74	11,01
	C	0,92	0,99	1,27	2,68	0,70	1,69	1,68	3,72
G = <i>Eucalyptus grandis</i>						Rn = Retração normal (%)			
S = <i>Eucalyptus saligna</i>						Rc = Retração colapsada (%)			
t = Tempo de secagem (dias)						C = Índice do colapso (%)			
u = Umidade final (%)									

A análise da variância dos resultados referentes ao índice do colapso antes e depois do condicionamento, previamente transformados em $\sqrt{x}$, consta na Tabela 4, onde é possível verificar que houve variáveis e interações com valores de F significativos ao nível de 1% e 5% de probabilidade, mostrando haver diferenças no índice do colapso em função de diversas causas da variação.

Tabela 4. Análise geral da variância do índice do colapso para as espécies estudadas

Causas da Variação	G L	Teste F	
		Antes	Depois
Tratamento	4	1,98 _{ns}	2,98*
Espécie	1	24,78**	3,21 _{ns}
Tábua	4	17,97**	9,03**
Secagem	3	16,30**	25,19**
Trat * Espécie	4	1,73 _{ns}	1,75 _{ns}
Trat * Tábua	16	3,88**	4,50**
Trat * Secagem	12	0,87 _{ns}	0,91 _{ns}
Esp * Tábua	4	31,62**	10,00**
Esp * Secagem	3	3,71**	3,58*
Tab * Secagem	12	1,38 _{ns}	1,40 _{ns}
Trat * Esp * Tab	16	1,67 _{ns}	1,23 _{ns}
Trat * Esp * Sec	12	0,94 _{ns}	0,50 _{ns}
Trat * Tab * Sec	48	1,54*	1,08 _{ns}
Esp * Tab * Sec	12	2,27**	2,44**
Trat * Esp * Tab * Sec	48	1,02 _{ns}	0,99 _{ns}
Resíduo	200		
Total	399		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade
 * = significativo ao nível de 5% de probabilidade
 n.s. = não significativo

Verifica-se que as variáveis tratamento e espécie e as interações espécie x secagem e tratamento x tábua x secagem mudaram o comportamento após o condicionamento. A variável tratamento que não foi significativa anterior ao condicionamento, passou a ser após essa fase, ao nível de 5% de probabilidade. Comportamento inverso foi mostrado pela variável espécie como também pela interação tratamento x tábuas x secagem.

Pela análise estatística antes do condicionamento observa-se que a variável "tábua" provoca diferenças significativas isoladamente como em algumas das interações em que está presente.

Os valores dos coeficientes das variações encontrados para o índice do colapso antes (45,50%) e depois (56,49%) do condicionamento podem ser considerados elevados, revelando acentuada dispersão dos valores individuais em relação a média.

Tabela 5. Análise geral das médias do índice do colapso, através do teste Tukey aos níveis de 1% e 5% de probabilidade.

Antes do condicionamento				Depois do condicionamento			
Variáveis		Médias		Variáveis		Médias	
Esp.	S	1,1610	a	Esp.	S	0,8573	a
	G	0,9248	b		G	0,7747	a
Tra.	T5	1,1260	a	Tra.	T2	0,8972	a
	T2	1,0832	a		T5	0,8900	a
	T1	1,0518	a		T4	0,8222	a b
	T4	1,0265	a		T1	0,7924	a b
	T3	0,9271	a		T3	0,6781	b
Sec.	S1	1,3206	a	Sec.	S1	1,1492	a
	S2	0,9952	b		S2	0,7954	b
	S3	0,9744	b		S4	0,6708	b
	S4	0,8815	b		S3	0,6486	b
Táb.	3	1,3294	a	Táb.	2	0,9761	a
	2	1,1979	ab		3	0,9451	a
	1	1,0203	bc		1	0,8450	ab
	4	0,8969	cd		4	0,6894	bc
	5	0,7702	d		5	0,6243	c
Médias com a mesma letra não diferem entre si.							

A comparação entre as médias dos tratamentos, através do teste Tuckey, é apresentada na Tabela 5. É possível verificar que o índice do colapso apresentado pelo *E. saligna* é 26% maior do que o do *E. grandis*.

Conforme a Tabela 4, as variáveis

significativas foram tábua ou espécie. Isto é uma comprovação de que realmente existe uma diferença na propensão ao colapso entre as duas espécies e deve existir também um possível efeito genético afetando fatores como densidade, estrutura anatômica e composição química, os quais provavelmente são responsáveis pela alta variabilidade verificada no índice do colapso entre tábuas (árvores) de uma mesma espécie. Nota-se que a diferença entre as tábuas de maior e menor índice do colapso é da ordem de 73%. Em função da variabilidade natural, HILLIS (1973) salienta a necessidade de se conhecer mais profundamente as interações genótipo x ambiente e seus efeitos na qualidade da madeira.

A variável tábua pode também ser entendida como variável árvore, uma vez que cada tábua foi retirada de uma árvore. Dessa forma, as diferenças entre tábuas refletem as diferenças entre árvores, ou seja, a variabilidade natural das propriedades físicas, químicas e anatômicas existente dentro de uma mesma população florestal. Como o presente estudo não permite confirmar a possível influência genética nos resultados obtidos, fica prejudicada a análise das interações em que a variável tábua (árvore) esteja presente.

4.2. Propriedades Físicas e Mecânicas

A Tabela 6 traz os valores médios da densidade básica das espécies em função dos diferentes tratamentos. O *E. grandis*, com sua densidade básica variando entre 0,336 a 0,609 g/cm³, é menos denso que o *E. saligna*, cuja amplitude de variação foi de 0,512 a 0,748 g/cm³.

A análise da variância desses dados é apresentada na Tabela 7, mostrando valores para o teste F significativos ao nível de 1% de probabilidade em todas as

variáveis estudadas e suas interações. O coeficiente de variação foi de 5,35%.

Tabela 6. Valores médios da densidade básica em função dos diferentes tratamentos.

TRATAMENTO	D E N S I D A D E (g/cm ³)			
	<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus saligna</i>	
T ₁	0,529		0,641	
T ₂	0,512		0,655	
T ₃	0,505		0,656	
T ₄	0,522		0,638	
T ₅	0,471		0,646	
Média	0,508		0,647	

Tabela 7. Análise da variância aplicada aos resultados da densidade básica.

Causas da Variação	G L	Teste F
Tratamento	4	6,05 **
Espécie	1	1.267,33 **
Tábua	4	42,20 **
Trat * Espécie	4	8,67 **
Trat * Tábua	16	7,10 **
Espécie * Tábua	4	104,55 **
Trat * Esp * Tab	16	8,32 **
Resíduo	200	
Total	249	

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Na Tabela 8, que apresenta a análise geral das médias, observa-se que, além da já esperada diferença entre espécies, existe uma variação significativa da densidade básica entre tábuas, da mesma forma que ocorre para o índice do colapso.

A diferença do tratamento T₅ (testemunha), em relação aos demais é decorrente da densidade básica menor nas amostras testemunhas de *E. grandis*. Pode-se explicar este comportamento considerando que (i) maior porcentagem de alburno nessas amostras, uma vez que a

escolha foi aleatória e nem sempre foi possível obter amostras só do cerne; ii) devido a idade, o *E. grandis* pode ter produzido madeira mais leve, ou seja, lenho juvenil, onde a densidade básica é menor.

Tabela 8. Análise geral de médias da densidade básica, através do teste Tukey aos níveis de 1% e 5% de probabilidade.

Variáveis		Médias	
Espécie	S	0,64732	a
	G	0,50804	b
Tratamento	T ₁	0,58496	a
	T ₂	0,58352	a
	T ₃	0,58066	a
	T ₄	0,58052	a
	T ₅	0,55874	b
Tábua	5	0,61256	a
	4	0,59920	a
	3	0,56846	b
	2	0,56736	b
	1	0,54082	c
Médias com a mesma letra não diferem entre si.			

Tabela 9. Valores médios da permeabilidade em função dos diferentes tratamentos.

TRATAMENTO	PERMEABILIDADE (cm ³ /cm.atm.s)	
	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus saligna</i>
T ₁	1,0171	1,0452
T ₂	1,1849	1,0482
T ₃	0,9903	1,1282
T ₄	0,8864	0,8581
T ₅	1,0091	1,1651
Média	1,0176	1,0490

Os valores médios da permeabilidade, em função dos diferentes tratamentos, são apresentados na Tabela 9.

A tabela 10 traz a análise da variância

desses dados, apresentando valores para o teste F significativos ao nível de 1% de probabilidade. Apenas a variável espécie não foi significativa. É importante ressaltar que, devido a perda de valores por rachaduras nas amostras, somente 147 observações foram usadas nesta análise. O coeficiente da variação foi de 18,45%.

Tabela 10. Análise geral da variância da permeabilidade para as espécies estudadas.

Causas da variação	G L	F
Tratamento	4	5,70**
Espécie	1	0,68 ^{ns}
Tábua	4	3,93**
Trat * Espécie	4	3,44*
Trat * Tábua	16	3,14**
Espécie * Tábua	4	4,40**
Trat * Esp * Tab	16	1,80*
Resíduo	97	
Total	146	
** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade		
* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade		
ns = não significativo		

Na análise geral das médias (Tabela 11), observa-se que não existe diferença estatisticamente significativa no comportamento entre as duas espécies, apesar de *E. grandis* ser ligeiramente mais permeável do que o *E. saligna*. A diferença do tratamento de maior e de menor média da permeabilidade é cerca de 24%.

Apesar do *E. saligna* ter apresentado maior índice do colapso (Tabela 5), foi contudo, a espécie que apresentou a maior média de permeabilidade (Tabela 9).

Esse comportamento pode ser explicado com o auxílio das equações 3 e 6. Observa-se que a magnitude da tensão capilar é função inversa do raio, enquanto que a permeabilidade depende não só do raio do capilar como também do número de capilares envolvidos na movimentação do fluido.

Tabela 11. Análise geral de médias da permeabilidade, através do teste Tukey aos níveis de 1% e 5% de probabilidade.

Variáveis		Médias	
Espécie	S	1,0631	a
	G	1,0367	a
Tratamento	T ₂	1,1166	a
	T ₅	1,1026	a
	T ₁	1,0667	a
	T ₃	1,05922	a
	T ₄	0,9023	b
Tábua	3	1,1726	a
	5	1,0503	a
	4	1,0382	a b
	1	1,0085	b
	2	0,9886	b

Médias com a mesma letra não diferem entre si.

Pode-se inferir que o *E. saligna* possui capilares com menor raio, fato que provavelmente é causado pela maior deposição ou concentração de extrativos nas pontuações. Contudo, dado o valor encontrado para a permeabilidade, pode-se supor que a quantidade de capilares efetivos seja maior no *E. saligna* em comparação ao *E. grandis*.

Esses resultados indicam que a permeabilidade quando analisada isoladamente não pode ser tomada como um indicativo da propensão ao colapso, cuja ocorrência poderá ser influenciada por outras características anatômicas da madeira.

Valores médios da resistência à compressão verde e seca podem ser observados na Tabela 12. O *E. grandis* apresentou menor resistência à compressão, como já era esperado, devido possuir menor densidade básica do que o *E. saligna*. Porém, observa-se que as testemunhas mostraram comportamento inferior em relação aos outros tratamentos, principalmente para o *E. grandis*. Esta menor resistência no tratamento T₅ (*E. grandis*) serve para

confirmar os resultados encontrados em relação à densidade básica.

Tabela 12. Valores médios da resistência à compressão verde e seca em função dos diferentes tratamentos.

TRATAMENTO	C O M P R E S S ã O (kgf/cm ² .min)			
	<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus saligna</i>	
	verde	seca	verde	seca
T ₁	341,91	499,24	408,97	603,24
T ₂	345,75	506,00	400,90	551,59
T ₃	359,22	514,64	415,99	570,84
T ₄	353,22	503,81	388,80	539,70
T ₅	319,93	469,75	394,87	527,08
Média	344,01	498,69	401,87	558,49

Tabela 13. Análise geral da variância da resistência à compressão verde e seca para as espécies estudadas.

Causas da Variação	G L	Teste F	
		verde	seca
Tratamento	4	5,12**	11,69**
Espécie	1	233,32**	125,19**
Tábua	4	31,99**	18,38**
Trat * Espécie	4	2,66*	4,78**
Trat * Tábua	16	2,55**	1,44 ^{ns}
Espécie * Tábua	4	12,98**	8,89**
Trat * Esp * Tab	16	2,27**	3,02**
Resíduo	200		
Total	249		

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade
 * = Significativo ao nível de 5% de probabilidade
 ns = não significativo

A análise da variância da resistência à compressão verde apresentada na Tabela 13, mostra praticamente todas as variáveis e interações significativas ao nível de 1% de probabilidade. Apenas a

4.3. Comparação entre Espécies

Os resultados demonstraram que o *E. grandis* possui menor propensão ao colapso do que o *E. saligna*.

Segundo KAUMAN (1964), o colapso é predominante em vários gêneros da família Myrtaceae, porém a intensidade em diferentes espécies do mesmo gênero é muito variável. O mesmo autor esclarece que é insignificante o colapso ocorrido em *E. marginata* comparado ao severo colapso do *E. globulus*.

Observou-se que as amostras de *E. grandis* atingiram menor umidade final em quase todas as condições de ensaio. Nota-se que existem exceções, principalmente nas amostras secas à temperatura de 60°C, apresentando diferença da ordem de, no máximo, 0,7%. Considerando que as condições foram iguais para as duas espécies, este aspecto significa que o *E. grandis* tende a secar mais rápido, provavelmente devido a menor massa de água a ser removida para atingir uma mesma umidade percentual, função de sua menor densidade básica. As análises das variâncias do índice do colapso antes e depois do condicionamento, permeabilidade, resistência à compressão verde e seca e da densidade básica para o *E. grandis* são apresentadas nas Tabelas 15 e 16.

Pode-se notar que para esta espécie os valores de F foram significativos ao nível de 1% de probabilidade para todas as variáveis na análise da densidade básica, enquanto para a análise do índice do colapso, apenas as variáveis tábua e secagem foram significativas. A análise do índice do colapso depois do condicionamento obteve comportamento semelhante ao anterior, além de apresentar também a interação tábua x secagem significativa ao nível de 5% de probabilidade.

Por outro lado, na análise da variância da permeabilidade, apenas tábua foi significativa ao nível de

1% de probabilidade, enquanto na análise da resistência à compressão verde e seca todas as variáveis e interações foram significativas.

Tabela 15. Análise da variância para o índice do colapso em *E. grandis*, antes e depois do condicionamento.

Causas da Variação	G L	Teste F	
		Antes	Depois
Tratamento	4	0,08 ^{ns}	0,89 ^{ns}
Tábua	4	11,65 ^{**}	7,44 ^{**}
Secagem	3	5,99 ^{**}	15,20 ^{**}
Trat * Tábua	16	0,96 ^{ns}	1,72 ^{ns}
Trat * Secagem	12	0,72 ^{ns}	0,74 ^{ns}
Tab * Secagem	12	1,00 ^{ns}	2,13 [*]
Trat * Tab * Sec	48	1,11 ^{ns}	1,10 ^{ns}
Resíduo	100		
Total	199		
C.V.(%)		51,60	54,45

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade

n.s. = não significativo

Tabela 16. Análise da variância para a densidade básica, permeabilidade, resistência à compressão verde e seca do *E. grandis*.

C. Variação	G L	Teste F			
		D.básica	Permeab	Comp.ver	Comp.sec
Tratamento	4	14,00 ^{**}	2,11 ^{ns}	5,71 ^{**}	5,36 ^{**}
Tábua	4	57,64 ^{**}	3,73 ^{**}	20,60 ^{**}	19,88 ^{**}
Trat * Tábua	16	14,67 ^{**}	1,83 ^{ns}	3,24 ^{**}	4,33 ^{**}
Resíduo	100				
Total	124				
C.V.(%)		5,89	22,83	9,04	7,40

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade

ns = Não significativo

As Tabelas 17 e 18 apresentam as análises das variâncias dos dados do índice do colapso, densidade

básica, permeabilidade e resistência à compressão para o *E. saligna*. Na análise do índice do colapso (antes), apenas a interação tratamento x secagem e tratamento x tábua x secagem não mostraram significância. Por outro lado, na análise depois do condicionamento, apenas as interações com secagem não foram significativas.

Na análise da densidade básica, somente o efeito da variável tábua foi significativa. Porém, a análise da variância da permeabilidade mostrou significância de 1% de probabilidade em todas as variáveis e interações, enquanto a análise da variância da resistência à compressão verde somente tábua foi significativa, e na seca apenas a interação tratamento x tábua não foi significativa.

Tabela 17. Análise da variância para o índice do colapso em *E. saligna*, antes e depois do condicionamento.

Causas da variação	G L	Teste F	
		Antes	Depois
Tratamento	4	3,67**	3,43**
Tábua	4	38,24**	11,01**
Secagem	3	14,12**	13,80**
Trat * Tábua	16	4,63**	3,68**
Trat * Secagem	12	1,10ns	0,69ns
Trat * Táb * Sec	48	1,45ns	0,98ns
Resíduo	300		
Total	399	203,00399	
C.V.(%)		40,64	57,97

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade
n.s. = não significativo

O coeficiente de variação da permeabilidade do *E. saligna* considerado médio (13,11%) demonstra menor dispersão quando comparado com o *E. grandis*.

A diferença mais marcante entre espécies foi a ineficiência dos tratamentos preventivos na incidência do

índice do colapso ou agindo na recuperação por meio do condicionamento para o *E. grandis*, conforme pode ser notado na Tabela 15. Talvez, por esta espécie apresentar menor propensão ao colapso, os tratamentos empregados não surtiram o efeito tão desejado. Conforme Tabela 17, o comportamento do *E. saligna* perante os tratamentos foi inverso ao anterior. Provavelmente pela maior tendência desta espécie apresentar o defeito, os tratamentos revelaram-se eficientes na prevenção ou diminuição e recuperação do colapso.

Tabela 18. Análise da variância para a densidade básica, permeabilidade, resistência à compressão verde e seca do *E. saligna*.

C. Variação	G L	Teste		F	
		D.básica	Permeab	Comp.ver	Comp.sec
Tratamento	4	1,50 _{ns}	11,55**	2,26 _{ns}	10,00**
Tábua	4	87,24**	5,34**	24,18**	9,79**
Trat x Tábua	16	1,58 _{ns}	4,27**	1,67 _{ns}	0,94 _{ns}
Resíduo	100				
Total	124				
C.V.(%)		4,93	13,11	8,09	8,42

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade
ns = Não significativo

A formação do colapso no *E. saligna* mostrou aumento mesmo depois de ter atingido o PSF (ponto de saturação das fibras), conforme ilustrado na Figura 10, onde pode ser observado que o índice do colapso continua aumentando em todas situações de umidade, mesmo abaixo dos 30% de umidade. Por outro lado, o *E. grandis* (Figura 11) mostra um comportamento de estabilização do índice do colapso quando a umidade decresce abaixo do PSF, em todas as situações estudadas.

Figura 10. Variação do colapso nos diversos tratamentos do *E. saligna*.

Figura 11. Variação do colapso nos diversos tratamentos do *E. grandis*.

A formação do colapso em *E. saligna* tem a característica do colapso tipo tensão líquida, pois segundo ELLWOOD & ECKLUND (1963b), este tipo de colapso pode ocorrer abaixo de um ponto onde toda a água livre removida das cavidades celulares, provoca uma retração maior do que a normal induzindo o colapso das células, embora estas estejam sob compressão por zonas adjacentes.

Conforme pode ser verificado na Tabela 16, a única variável significante na análise da permeabilidade, para o *E. grandis*, foi tábua. A não significância do tratamento vem confirmar os resultados na Tabela 15, onde os tratamentos foram ineficientes em prevenir o colapso. Por outro lado, na análise da permeabilidade do *E. saligna* (Tabela 18), todas as variáveis e interações foram significativas, como também o foram na análise do índice do colapso, com exceção de tratamento x secagem e tratamento x tábua x secagem. Uma vez mais comprova-se a existência, por parte do *E. saligna*, de uma tendência maior ao colapso do que o *E. grandis*.

Comprova-se nessa análise que a ocorrência do colapso, além de apresentar magnitudes diferentes entre espécies do mesmo gênero (KAUMAN, 1964), também apresenta variabilidade entre indivíduos de uma mesma espécie. O comportamento comum entre as duas espécies foi o efeito significativo das variáveis tábua e secagem, em relação ao índice do colapso.

A análise da variância aplicada aos valores da densidade básica do *E. grandis* revelou significância para os valores de F ao nível de 1% de probabilidade obtidos para a variável tratamento provavelmente causada pelas amostras do lote testemunha, conforme já discutido. Por outro lado, a variável tábua mostrou significância para as duas espécies, indicando que apesar da pequena amplitude de variação da densidade básica, deverá existir grande variabilidade entre árvores.

4.4. Comparação entre Tratamentos

Com base nos resultados das Tabelas 3, 4 e 5, verifica-se que o tratamento que apresentou a menor média, tanto antes como depois do condicionamento foi o T₃. Este tratamento consistiu na imersão das amostras em água com cloreto de amônio por 20 horas a uma temperatura de 50°C. Por outro lado, o tratamento com a pior média foi o T₅, o que já era esperado, pois foram as amostras testemunhas, sem nenhum tratamento prévio. O tratamento T₂, apresentou o maior índice do colapso após condicionamento, mostrando que o tratamento com cloreto de amônio a 75°C não respondeu bem a essa fase.

A partir da análise da variância das espécies (Tabelas 15 e 17), a análise dos tratamentos será feita pela comparação entre médias, utilizando o teste Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Conforme nota-se na Tabela 19, os tratamentos preventivos não foram tão eficientes na prevenção e até mesmo na recuperação do colapso por condicionamento quanto o esperado, principalmente para o *E. grandis*. Esse resultado com o *E. grandis* foi o responsável pela não significância da variável "tratamento" na análise dos resultados totais, antes do condicionamento.

No caso do *E. saligna*, o tratamento T₃ diferiu estatisticamente dos demais, mostra a melhor performance, sendo 39% menor do que o T₅, que apresentou o maior índice.

Conforme discutido anteriormente, previa-se que o amônio utilizado em combinação com o vapor (Tratamento T₁), água aquecida a 75°C (Tratamento T₂) e água aquecida a 50°C (Tratamento T₃), atuaria no amolecimento das fibras e na remoção de extrativos, desobstruindo as pontuações. Com isso melhorar-se-ia a permeabilidade e reduzir-se-ia a tensão hidrostática e a

tendência da madeira em colapsar. Por ocasião do término do tratamento a vapor, notou-se que duas tábuas de *E. saligna* já apresentavam colapso.

Tabela 19. Análise de médias do índice do colapso antes e depois do condicionamento em função dos tratamentos preventivos, através do teste Tukey aos níveis de 1% e 5% de probabilidade.

<i>Eucalyptus</i>		<i>grandis</i>		<i>Eucalyptus</i>		<i>saligna</i>	
Antes		Depois		Antes		Depois	
Trat.	Médias	Trat.	Médias	Trat.	Médias	Trat.	Médias
T5	0,9590a	T4	0,8446a	T5	1,1930a	T2	1,0420a
T3	0,9280a	T5	0,8332a	T2	1,2470a	T5	0,9470ab
T2	0,9190a	T2	0,7523a	T1	1,1990ab	T1	0,8380ab
T4	0,9140a	T1	0,7469a	T4	1,1390ab	T4	0,8000ab
T1	0,9040a	T3	0,6962a	T3	0,9270 b	T3	0,6600 b

Médias com as mesmas letras não diferem entre si.

Comportamento similar foi encontrado por CHOONG *et alii* (1973), em que a extração em água quente de *E. regnans* resultou em severo colapso.

A formação do colapso nos dois casos pode estar relacionada ao resultado da degradação térmica da madeira saturada, devido o aumento da acidez e hidrólise parcial da madeira (CHOONG *et alii*, 1973).

Segundo KUBINSKY e IFJU (1974), depois de prolongados tratamentos a vapor, a retração na superfície da madeira exerce alta tensão compressiva sobre o âmago ainda úmido e enfraquecido, levando-o a falhas de compressão e causando ou contribuindo para a incidência do colapso.

Porém, a despeito do verificado nas duas tábuas do *E. saligna*, observa-se na Tabela 19 que o tratamento a vapor (T1) para as duas espécies estudadas não seguiu este comportamento. Entre os tratamentos considerados ruins para o *E. saligna*, o tratamento T1

apresentou uma das menores médias, contrariando em parte os resultados acima descritos.

Na Tabela 20 são apresentados os valores da análise de médias da densidade básica para o *E. grandis* e *E. saligna*, onde destaca-se o tratamento T5 do *E. grandis* como o grupo de amostras com a menor densidade básica.

Tabela 20. Análise de médias da densidade básica em função dos tratamentos preventivos, através do teste Tukey aos níveis de 1% e 5% de probabilidade.

<i>Eucalyptus grandis</i>			<i>Eucalyptus saligna</i>		
Tratamento	Médias		Tratamento	Médias	
T1	0,5290	a	T3	0,6558	a
T4	0,5222	a	T2	0,6549	a
T2	0,5122	a	T5	0,6461	a
T3	0,5055	a	T1	0,6409	a
T5	0,4714	b	T4	0,6388	a

Médias com as mesmas letras não diferem entre si.

Comparando-se os resultados das Tabelas 19 e 20 (antes do condicionamento) observa-se para o *E. grandis* (com exceção do tratamento T5) que existe uma tendência que permite relacionar o menor índice do colapso com a maior densidade básica, ao passo que para o *E. saligna* não verifica-se essa tendência.

Quando da análise dos resultados depois do condicionamento (Tabelas 19 e 20), verifica-se que a tendência mostrada pelas espécies invertem-se, como também é invertido o nível dessa tendência. Nota-se que o *E. grandis* não apresenta tendência de correlação entre densidade básica e tratamento, porém para o *E. saligna* (com exceção do tratamento T3), existe a tendência do tratamento com maior densidade básica apresentar o maior índice do colapso.

Os menores valores do índice do colapso encontrados e que não diferem significativamente entre si,

ocorrem nos tratamentos do *E. grandis* e, portanto, indicam a espécie para um melhor estudo de aproveitamento. Esses dados comparados com os do *E. saligna* mostram uma constância de qualidade, ou seja, a madeira de *E. grandis* possui menor propensão ao colapso.

Na Tabela 21 são apresentados os valores da análise de médias da permeabilidade para as duas espécies.

Tabela 21. Análise de médias da permeabilidade em função dos tratamentos preventivos, através do teste Tukey aos níveis de 1% e 5% de probabilidade.

<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus saligna</i>	
Tratamento	Médias	Tratamento	Médias
T2	1,1849 a	T5	1,1651 a
T5	1,0396 a	T3	1,1282 a
T1	1,0171 a	T1	1,1198 a
T3	0,9903 a	T2	1,0482 a
T4	0,9498 a	T4	0,8581 b

Médias com as mesmas letras não diferem entre si.

O efeito do amônio acumulado ao vapor ou aquecimento do *E. grandis* é insignificante e não muda a condição da permeabilidade, apesar do tratamento T5 (testemunha) apresentar a segunda maior média. Observa-se que as testemunhas tiveram melhor comportamento e tal resultado não era esperado.

Se por um lado, o efeito do amônio deveria provocar na madeira aumento da permeabilidade, por outro lado o efeito da alta temperatura aliado ao colapso, torna o material menos permeável, pelo esmagamento de suas fibras.

Várias pesquisas relacionam a membrana da pontuação de folhosas como sendo uma célula mais ou menos contínua (CHEN, 1975), diferenciada das coníferas que possuem um torus com uma região ao redor altamente perfurada.

Apesar do tipo de pontuação das folhosas não possuir torus, entre as madeiras consideradas impermeáveis encontram-se os eucaliptos. Segundo CHOONG *et alii* (1973), a baixa permeabilidade do eucalipto é devida à existência de reduzidos espaços interrelacionados ao transporte da umidade, da parte interna até a superfície da madeira.

Esse comportamento pode ser causado pela reposição de tilas nos lumes das fibras, o que reduziria o diâmetro efetivo dos capilares e, conseqüentemente, reduziria a permeabilidade e aumentaria a tensão capilar.

4.5. Comparação entre Secagens

Analisando os resultados da Tabela 5, nota-se que a comparação entre as médias para os métodos de secagem, mostrou que a pior secagem foi a S₁, indicando que não serve para diminuir ou eliminar o colapso.

A comparação entre médias das secagens, pelo teste Tukey ao nível de 1% de probabilidade, revelou que a secagem mais apropriada para o *E. grandis* é a S₃ (Tabela 22), tanto antes como depois do condicionamento.

Tabela 22. Análise de médias do índice do colapso em função da secagem, através do teste Tukey aos níveis de 1% e 5% de probabilidade.

<i>Eucalyptus</i>		<i>grandis</i>		<i>Eucalyptus</i>		<i>saligna</i>	
a n t e s		d e p o i s		a n t e s		d e p o i s	
Sec	Médias	Sec	Médias	Sec	Médias	Sec	Médias
S ₁	1,1651a	S ₁	1,0903a	S ₁	1,4761a	S ₁	1,2081a
S ₄	0,9003 b	S ₄	0,7546b	S ₂	1,1644 b	S ₂	0,8676 b
S ₂	0,8260 b	S ₂	0,7233bc	S ₃	1,1409 b	S ₃	0,7666 bc
S ₃	0,8079 b	S ₃	0,5306 c	S ₄	0,8628 c	S ₄	0,5870 c

Médias com as mesmas letras não diferem entre si.

A secagem S₃ foi realizada em estufa a 30°C de bulbo seco, e é mais rápida do que a secagem ao ar livre, devido o controle da umidade relativa e temperatura. Apesar desta secagem acelerar a taxa de difusão da umidade da madeira, nota-se que o *E. grandis* obteve a menor taxa do índice do colapso (Tabela 22), confirmando que esta espécie não é tão propensa a esse tipo de defeito.

Por outro lado, a secagem mais indicada para o *E. saligna*, antes e depois do condicionamento, é ao ar livre (S₄). Esse método de secagem, se executado dentro de técnicas adequadas, causa pouca degradação na madeira. De acordo com STÖHR (1977), muitos defeitos de secagem estão associados principalmente a técnicas impróprias de empilhamento, mau controle da temperatura e umidade relativa e, principalmente, aos programas de secagem não apropriados para a espécie.

Como já observado anteriormente, a secagem S₁ é a que proporcionou maiores intensidades do colapso para as duas espécies, antes e depois do condicionamento. Observa-se que a diferença do índice do colapso do *E. grandis* entre as secagens S₁ e S₃ é de 44%, enquanto a diferença para o *E. saligna*, entre as secagens S₁ e S₄, é de aproximadamente, 71%.

Em geral, alguns defeitos como o colapso, estão associados ao aumento da temperatura (ELLWOOD e ECKLUND, 1963b). Isto é especialmente importante para determinar a temperatura mais apropriada para a secagem de madeiras de eucalipto. De acordo com VERMAAS (1987), deve-se combinar a secagem ao ar livre e secagem em estufa ou a secagem em pré-secadores e secagem em estufa.

Em vista dos resultados obtidos observa-se que o tempo de secagem é inversamente proporcional ao aumento da temperatura. O mesmo comportamento é notado na umidade final, pois as amostras secas ao ar livre apresentam a umidade maior do que aquelas secas a 60°C.

Contudo, é importante notar que, apesar das

duas espécies terem comportamento diferenciado em relação aos tratamentos, o maior índice do colapso é notado sempre na maior temperatura de secagem de todos os tratamentos.

4.6. Comparação entre Tábuas

A análise dos resultados das Tabelas 3, 4 e 5 mostra que existe uma variação entre tábuas (árvores) a nível do índice do colapso e densidade básica. O índice do colapso pode estar relacionado a característica da própria madeira, como permeabilidade, densidade básica, estrutura da parede celular, além de fatores relacionados à secagem.

Porém, na análise dos resultados individualizados por espécie (Tabelas 23 e 24), é possível verificar que para o *E. grandis*, o índice do colapso (antes e depois) não está relacionado com a densidade básica. Por outro lado, o índice do colapso apresentado pelo *E. saligna* mostrou-se inversamente relacionado com a densidade básica, tanto antes como depois do condicionamento.

Quando os resultados para o *E. saligna* foram agrupados por tratamento (Tabelas 19 e 20), não foi observada nenhuma tendência. Porém, quando foram agrupados para o *E. grandis* notou-se a tendência da maior densidade básica apresentar o menor índice do colapso, conforme já discutido. Isto leva a inferir que a variável densidade deva ser isolada para se estudar com maior profundidade a ocorrência do colapso.

É possível verificar que para o *E. saligna* existe grande variabilidade do índice do colapso quando estudado em função da tábua, o que não ocorre em relação ao *E. grandis* (Tabela 21). O *E. grandis* mostrou uma diferença de 86% entre a tábua de maior e menor colapso, enquanto a diferença para o *E. saligna* é de aproximadamente 169%. Apesar da análise da densidade básica apresentar

comportamento similar ao índice do colapso (antes e depois) para o *E. saligna*, não ocorre o mesmo para o *E. grandis*.

Isso sugere que há uma tendência apresentada apenas pelo *E. saligna*, associando o índice do colapso em relação inversa com a densidade básica. Mesmo comportamento encontrou CHAFE (1985) para o *E. regnans*, onde mostrou grande correlação positiva com o teor de umidade e negativa com a densidade básica.

Tabela 23. Análise de médias do índice do colapso em função da tábuas, antes e depois do condicionamento, através do teste Tukey aos níveis de 1% e 5% de probabilidade.

<i>Eucalyptus</i>		<i>grandis</i>		<i>Eucalyptus</i>		<i>saligna</i>	
antes		depois		antes		depois	
Táb.	Médias	Táb.	Médias	Táb.	Médias	Táb.	Médias
2	1,294a	2	1,0567a	3	1,883a	3	1,200a
4	1,094a	4	0,8380ab	1	1,278 b	1	0,984a
3	0,776 b	1	0,7058 b	2	1,102 bc	2	0,895ab
1	0,763 b	3	0,6900 b	5	0,843 cd	5	0,666 bc
5	0,697 b	5	0,5828 b	4	0,700 d	4	0,541 c

Médias com as mesmas letras não diferem entre si.

Tabela 24. Análise de médias da densidade básica em função da tábuas, através do teste Tukey aos níveis de 1% e 5% de probabilidade.

<i>Eucalyptus</i>		<i>grandis</i>		<i>Eucalyptus</i>		<i>saligna</i>	
Tábua		Médias		Tábua		Médias	
3		0,5748 a		5		0,7229 a	
4		0,5201 b		4		0,6783 b	
5		0,5022 b c		2		0,6411 c	
2		0,4936 c		1		0,6322 c	
1		0,4495 d		3		0,5622 d	

Médias com as mesmas letras não diferem entre si.

Na Tabela 25 são apresentados os valores da análise de médias da permeabilidade para as espécies em questão.

Tabela 25. Análise de médias da permeabilidade em função das tábuas, através do teste Tukey aos níveis de 1% e 5% de probabilidade.

<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus saligna</i>	
Tábua	Médias	Tábua	Médias
3	1,1849 a	5	1,1869 a
1	1,0356 a b	3	1,1062 a b
4	1,0171 a b	4	1,0541 a b
2	0,9903 b	2	0,9988 b
5	0,9498 b	1	0,9777 b

Médias com as mesmas letras não diferem entre si.

Na análise das Tabelas 23 e 25, é possível notar para o *E. saligna*, que não existe a possibilidade da tábua mais permeável apresentar o menor índice do colapso, ou vice-versa. Todavia, o *E. grandis* apresenta a correlação (com exceção da tábua 5), da mais permeável mostrar o menor índice do colapso.

Por outro lado, na análise das Tabelas 24 e 25, o *E. grandis* não mostra correlação entre densidade e permeabilidade, enquanto o *E. saligna* apresenta correlação da mais densa possuir a maior permeabilidade, com exceção da tábua 3.

A variação encontrada na análise do índice do colapso e densidade básica, não se repete para a análise da permeabilidade em função das tábuas.

Na Tabela 26 são apresentados os resultados referentes à análise da correlação linear simples (Coeficiente de Correlação de Pearson) entre permeabilidade, densidade básica e índice do colapso.

Tabela 26. Análise da correlação entre a densidade básica, permeabilidade e índice do colapso para as duas espécies de eucaliptos estudadas.

Espécies	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus saligna</i>
Variáveis	Í N D I C E D O	C O L A P S O
Densidade	- 0,03858 ns	- 0,67080 **
Permeabilidade	- 0,02843ns	- 0,15309ns

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade
ns = não significativo

Os resultados da análise de regressão entre densidade básica e índice do colapso para o *E. grandis* e *E. saligna* constam da Tabela 27. Os testes t e F para o *E. saligna*, acusaram significância ao nível de 1% de probabilidade. Por outro lado, esses mesmos testes não foram significativos para o *E. grandis*.

Tabela 27. Análise da regressão linear simples entre a densidade básica e o índice do colapso em função das duas espécies de eucalipto estudadas.

Espécies	<i>E. grandis</i>	<i>E. saligna</i>
I. colapso (IC), em %	0,9248	1,1610
D. básica (DB), em g/cm ³	0,508	0,647
C. de determinação r ²	0,0015	0,45
Teste t	- 0,185ns	- 4,338 **
Teste F	0,034ns	18,816 **
Parâmetro "a"	0,717035	0,855998
Parâmetro "b"	- 0,006348	- 0,045131

Os resultados permitem expressar o índice do colapso com base na densidade básica da madeira de *E. saligna*. Esse fato é interessante para indicar indivíduos com baixos índices de colapso, por métodos rápidos e não

destrutivos. Os dados referentes ao *E. grandis* não permitem correlacionar o índice do colapso e a densidade básica.

Este comportamento reforça o indicativo de que as propriedades físicas densidade ou permeabilidade, quando tomadas isoladamente, não são adequadas para prever a ocorrência do colapso de uma forma genérica.

Para folhosas em geral, a densidade básica é um indicador direto e positivamente relacionado às propriedades da madeira; porém, em madeiras de eucalipto parece agir de modo contrário, principalmente para retrações. De acordo com a Tabela 27, o parâmetro b por ser negativo, demonstra uma correlação negativa entre densidade básica e índice do colapso, estando de acordo com os resultados encontrados por CHAFE (1985). Esses resultados, aliados ao elevado coeficiente da variação do índice do colapso (40,64%), sugerem a conveniência de estudos genéticos e silviculturais das madeiras que tenham propensão ao colapso.

Como indicação de trabalhos visando uma quantidade mínima de defeitos durante a secagem, De Villiers (1968), citado por STÖHR (1977), esclarece que a rotação de árvores de *E. saligna* não deve exceder 25 anos e árvores de *E. grandis*, devido a sua menor propensão ao desenvolvimento do colapso, uma rotação máxima de 30 anos.

4.7. Efeito do Condicionamento

Como já visto, o tratamento de recuperação da madeira de eucalipto afetada pelo colapso, tem por finalidade a restauração de forma permanente. Por isso, no fim do processo de secagem, a fase de condicionamento foi aplicada por 8 horas à temperatura de aproximadamente 80°C de bulbo seco e 79°C de bulbo úmido.

De acordo com TINTO (1957) a recuperação produzida não é a expressão de um fenômeno transitório ou

um estado instável da madeira, e sim um condicionamento permanente dos elementos lenhosos que recuperam suas formas.

Pode-se observar através das Tabelas 28 e 29 o comportamento do *E. grandis* e *E. saligna* antes e depois do condicionamento. Verifica-se que persiste a tendência do aumento do índice do colapso com o aumento da temperatura.

Apesar disso, o *E. saligna* mostrou, em termos percentuais, que a sua recuperação foi bem melhor do que a apresentada pelo *E. grandis*. Contudo, o colapso ainda presente no *E. saligna*, após o condicionamento, em valores absolutos e relativos, é maior do que o apresentado pelo *E. grandis*.

Tabela 28. Avaliação do índice do colapso em *E. grandis* antes (A) e depois (D) do processo de condicionamento.

Espécie	<i>E u c a l y p t u s</i>						<i>g r a n d i s</i>			
	T.Sec 60°C		45°C		30°C		AR		Media	
Trat	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
T ₁	1,61	0,65	1,02	0,80	0,64	0,23	0,92	0,78	1,048	0,615
T ₂	1,60	1,20	0,65	0,55	0,60	0,35	1,01	0,92	0,965	0,755
T ₃	2,25	0,45	0,93	0,60	0,51	0,20	1,26	1,03	1,238	0,570
T ₄	2,16	1,71	1,29	1,22	0,55	0,34	0,70	0,69	1,175	0,990
T ₅	1,68	1,17	0,70	0,57	1,27	0,70	0,92	0,82	1,143	0,815
Méd	1,86	1,04	0,92	0,75	0,71	0,36	0,96	0,85	1,114	0,749

Esta melhor recuperação do *E. saligna* pode estar ligada ao fato de que as amostras foram submetidas ao método de condicionamento logo após a secagem, e esta espécie continha um maior teor de umidade (Tabela 3). Segundo Tiemann (1944), citado por SKAAR (1972), o condicionamento das amostras de madeira só possui efetividade se aplicado quando o teor de umidade estiver entre 15 e 20 %. Adicionalmente pode-se considerar que nem todos os eucaliptos respondem perfeitamente aos métodos de

recuperação, como é o caso do *E. delegatensis* e *E. obliqua*, conforme citado por CHRISTENSEN (1978).

Tabela 29. Avaliação do índice do colapso em *E. saligna* antes (A) e depois (D) do processo de condicionamento.

Espécie	<i>E u c a l y p t u s</i>						<i>s a l i g n a</i>			
	T.Sec 60°C		45°C		30°C		AR		Media	
Trat	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
T ₁	2,97	2,03	2,44	0,97	1,90	0,83	0,94	0,43	2,063	1,065
T ₂	4,19	2,68	1,87	1,58	2,09	1,63	0,76	0,76	2,228	1,663
T ₃	1,62	1,11	1,80	1,12	0,88	0,66	0,23	0,11	1,113	0,750
T ₄	2,32	1,80	1,20	0,78	1,93	0,58	1,30	0,53	1,688	0,923
T ₅	3,72	2,98	1,69	0,94	2,68	0,83	0,99	0,48	2,270	1,308
Méd	2,96	2,12	1,80	1,08	1,90	0,91	0,84	0,46	1,876	1,142

A Tabela 28 mostra os valores da avaliação do índice do colapso para o *E. grandis*, antes e depois do condicionamento. Observa-se que a melhor recuperação deu-se no tratamento T₃, exatamente o tratamento que apresentou a segunda maior média do índice do colapso, conforme Tabela 19. A menor recuperação foi apresentada pelo tratamento T₄, que obteve valores medianos do índice do colapso. Os tratamentos T₁, T₂ e T₅ apresentaram resultados intermediários e muito próximos.

Por um lado, as amostras secas a 30°C (secagem S₃) apresentaram a resposta mais satisfatória, e foi a secagem mais indicada para o *E. grandis*, por ter apresentado o menor índice do colapso (Tabela 16). Por outro lado, as de menor recuperação no condicionamento foram as secas ao ar (secagem S₄). A secagem a 60°C (secagem S₁), deveria ter apresentado um dos menores valores de recuperação, pois foi o método de secagem que apresentou o maior índice do colapso, pela temperatura ser um dos fatores mais importantes no aparecimento do colapso, como já foi observado.

Comparando-se os resultados das Tabelas 22 e 28, para o *E. grandis*, existe a confirmação de que a melhor secagem é a 30°C (S₃) e a que proporcionou os maiores índices de colapso é a secagem a 60°C (S₁).

Por outro lado, verifica-se que os tratamentos, também tiveram o mesmo comportamento, verificando-se que o melhor é o T₃. Apenas com relação ao pior tratamento é que não houve confirmação desses resultados.

O *E. saligna* (Tabela 29) apresentou o tratamento T₁ com o maior índice de recuperação, apesar de ter mostrado, conforme Tabela 19, um dos tratamentos com maior índice do colapso. Enquanto o tratamento T₃ proporcionou amostras com menor porcentagem do índice do colapso, foi o que apresentou a segunda menor recuperação. Por outro lado, o tratamento T₂ mostrou a pior recuperação e a segunda maior média do índice do colapso. Em relação as secagens, a melhor recuperação ocorreu nas amostras secas a 30°C (secagem S₃), e o pior resultado foi apresentado pelas amostras secas a 60°C (secagem S₁).

Em vista dos resultados, pode-se dizer que o melhor procedimento para o *E. grandis* é o tratamento T₃ combinado à secagem S₃. Deve-se então, concentrar nessa espécie todos os esforços de pesquisa no sentido do seu melhor aproveitamento, para fins mais nobres.

Para o *E. saligna* deve-se conduzir mais experimentos para melhor definição do tratamento e da secagem mais adequados.

Recomenda-se, também, a condução de estudos mais detalhados visando estabelecer as condições ótimas de temperatura e umidade relativa para o condicionamento e consequente recuperação do índice do colapso em madeira de *E. grandis* e *E. saligna*.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos e da análise dos mesmos, pode-se concluir que:

- 1) A intensidade do colapso varia significativamente entre as duas espécies do gênero *Eucalyptus* estudadas, como também entre as árvores dessas espécies;
- 2) A madeira de *E. saligna* é mais propensa ao colapso do que a madeira de *E. grandis*;
- 3) A intensidade do colapso apresentado pela madeira de *E. saligna* está negativamente relacionada com a densidade básica, de acordo com a equação:

$$I.C. = 0,855998 - 0,045131 \times \text{densidade básica};$$
- 4) Os resultados apresentados pelos tratamentos preventivos não foram tão eficientes quanto o esperado, tanto para o *E. grandis* como para o *E. saligna*. O condicionamento foi o melhor método encontrado para a recuperação das madeiras colapsadas;
- 5) Apesar da madeira de *E. saligna*, quando comparada ao *E. grandis*, apresentar maior intensidade de colapso durante a secagem, apresentou também maior recuperação do defeito após o condicionamento;
- 6) A temperatura de secagem é um fator decisivo para a

ocorrência do colapso, sendo que a intensidade do colapso aumenta com o aumento da temperatura de secagem;

- 7) O tratamento químico com cloreto de amônio não foi efetivo para alterar a permeabilidade da madeira.
- 8) A madeira de *E. grandis* apresentou menor resistência à compressão, tanto verde quanto seca, quando comparada a madeira de *E. saligna*;
- 9) O tratamento por incisamento (T4) também não apresentou resultados satisfatórios;

O presente trabalho permite também sugerir recomendações visando a complementação dos resultados ora obtidos. Tais recomendações são:

- 1) O período de condicionamento para remoção do colapso da madeira de eucalipto deve ser melhor estudado, visando estabelecer as condições ótimas de temperatura e umidade relativa;
- 2) Desenvolver programas de secagem capazes de envolver a combinação de métodos de secagem na prevenção do colapso de madeira;
- 3) Desenvolver estudos tentando a melhor determinação da interação do índice do colapso e densidade básica;
- 4) Estudar a influência da anatomia da madeira no desenvolvimento do colapso durante a secagem.

6. LITERATURA CITADA.

ABNT, Ensaios físicos e mecânicos de madeiras: método brasileiro. Rio de Janeiro, 1940. 16p.

BAI, G.L. & GARRAHAN, P. The temperature and moisture content in lumber during preheating and drying. *Wood Sci. Techn.* 18(2):124 - 135. 1984.

BISSET, I.J.W. & ELLWOOD, E.L. The relation of differential of collapse and shrinkage to wood anatomy in *Eucalyptus regnans* F.v.M. and *E. gigantea* Hook. F. *Australian J. Appl. Sci.* p. 175 - 183. 1951.

BOONE, R.S. High - temperature kiln drying of 4/4 lumber from 12 hardwood species. *For. Prod. J.* 34(3):10 - 18. 1984.

BOYD, J.D. Tree growth stresses. III. The origin of growth stresses. *Australian J. of Scientific Res.* B.3: 294-309. 1950.

BRAMHAL, G. & WELLWOOD, R.W. Kiln drying of western canadian lumber. Vancouver. Western Forest Prod. Lab. Canadian For. Ser. . 1976. 112p.

BRANDÃO, A.T.O. Determinação de Metodologia para a Indicação de Programas de Secagem de Madeiras.

- Piracicaba. 1989. 100p. (Mestrado - ESALQ/USP)
- BRASIL. Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. *Estudos sobre Métodos de Secagem de Madeiras da Amazônia*. Belém. SUDAM. p. 1 - 18. 1981.
- CAMPBELL, G.S. The drying of ash - type *Eucalyptus*: A review of recent research. Division of Building Research. CSIRO. 25th Austis. Conference. Tasmania. 1978.5p.
- CARPIM, M.A. e BARRICHELO, L.E.G. *Densidade básica - subsídios para determinação (1ª parte)*. Piracicaba. Informações SQCE. 8 p. 1983.
- CARVALHO, A. Fendas internas no lenho de *Larix decidua* Mill. In: DEFEITOS DA MADEIRA. Parte 1. Portugal.Ministério de Economia. Direção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas. 1957. P.21-36.
- CAVALCANTE, A.de A. e TOMAZELLO F^o, M. Alterações na estrutura anatômica da madeira de cedro (*Cedrela* sp) e eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden) durante o processo de secagem. 1989. (Dados não publicados).
- CECH, M.Y. Effect of alcohol in preventing collapse under extreme drying conditions. *For.Prod.J.* 18(6):35 - 42. 1968.
- CECH, M.Y. e GOULET, M. Transverse compression treatment of wood to improve its drying behavior.*For.Prod.J.*18(5):90 - 91. 1968.
- CHAFE, S.C. The distribution and interrelationship of collapse in trees of *Eucalyptus regnans* F. Muell. *Wood Sci.Tech.*19(4):329 - 345. 1985.

- CHAFE, S.C. Radial variation of collapse, volumetric shrinkage, moisture content and density in *Eucalyptus regnans* F.Muell. *Wood Sci. Tech.* 20(3):253 - 262. 1986a.
- CHAFE, S.C. Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extratives in *Eucalyptus* and others species. Part 1. The Shrinkage / Specific Gravity ratio. *Wood Sci. Tech.* 20(4):293 - 307. 1986b.
- CHAFE, S.C. Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extratives in *Eucalyptus* and others species. Part 2. The influence of wood extratives. *Wood Sci. Tech.* 21(1): 27-41. 1987a.
- CHAFE, S.C. Towards defining a wood quality index for the *Eucalyptus*: The R-ratio. *Wood Sci. Tech.* 21(2):131-138. 1987b.
- CHEN, P.Y.S. Wood permeability and its importance in preservation and drying. For.Sci.Lab. USDA. Illinois. 4 p. 1970.
- CHEN, P.Y.S. Effect of air-drying and rewetting on hardwood permeability. *Wood Sci.* 7(4): 280-283. 1975.
- CHEN, P.Y.S. & COOPER, G.A. The effect of prefreezing on permeability of black walnut to water. *Wood Sci.* 6(4): 389-393. 1974.
- CHOONG, E.T.; MACKAY, J.F.G.; STEWART, C.M. Collapse and moisture flow in kiln-drying and freeze-drying of woods. *Wood Sci.* 6(2):127-135. 1973.
- CHOONG, E.T.; TESORO, F.O.; MANWILLER, F.G. Permeability of twenty-two small diameter hardwoods growing on southern pine sites. *Wood and Fiber* 6(1):91 - 101. 1974.

CHRISTENSEN, F.J. Findings of visit to Tasmania to asses drying degrade in hardwood boards. 8p. 1978.(Relatório).

CHRISTENSEN, F.J. & NEYLON, M. Effect of pre-freezing on the seasoning of backsawn boards from Tasmania grown *Eucalyptus*. 9 p. 1977. (Relatório).

CHUDNOFF, M. & TISCHLER, K. Fiber morphology of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. and the relation of wood anatomy to certain physical and mechanical properties. *Israel For. Assoc. Ilanot*. Supplement (1):1 - 22. 1963.

CLARKE, R. A piece of the puzzle. *Forintek Review*. Forintek Canada Corp. 1988. p. 4 - 5.

ELLWOOD, E.L. & ECKLUND, B.A. The effect of organic liquids on collapse and shrinkage of wood. I. Effect of degrees of replacement. *For. Prod. J.* 13(7):291 - 298. 1963a.

ELLWOOD, E.L. & ECKLUND, B.A. The effect of organic liquids on collapse and shrinkage of wood. II. Effect of drying temperatures. *For. Prod. J.* 13(8):350 - 354. 1963b.

ELLWOOD, E.L.; ECKLUND, B.A.; ZAVARIN, E. The effect of organic liquids on collapse and shrinkage of wood. III. Chemical influences. *For. Prod. J.* 13(9):401 - 404. 1963.

ERICKSON, R.W. Drying of pre-frozen redwood: fundamental and applied considerations. *For. Prod. J.* 18(6):49 - 56. 1968.

ERICKSON, R.W.; DEMAREE, L.; JOHNSTON, P.; MORTON, E. Prefreezing alone and combined with presteaming in the drying of redwood dimension. *For. Prod. J.* 21(7):54 - 59. 1971.

- FAO. Eucalypts for planting. Rome. FAO. 1981. p. 503 - 506.
- FREITAS, A.R. & PONCE, R.H. Madeira serrada de eucalipto. *Jornal dos Reflorestadores*. São Paulo 1(2):24 - 25. 1979.
- FUMOTO, H.; PERNG, W.R.; SEBASTIAN, L.P. Studies on flow in wood. VIII. Air permeability and polymer penetration of jack and red pines. *Mokusai Gakkaishi* 30(8):646 - 652. 1984.
- GALVÃO, A.P.M. Aspectos de utilização de madeiras de eucalipto no Brasil - Seu aproveitamento em serraria. IPEF. Circulação interna. Piracicaba, 4(2):17 - 21. 1976.
- GALVÃO, A.P.M. & JANKOWSKY, I.P. Secagem racional da madeira. Nobel. 1985 112 p.
- HART, C.A. Relative humidity, equilibrium moisture content, and collapse shrinkage in wood. *For.Prod.J.* 34(11/12): 45-54. 1984.
- HART, C.A.; PRZESTRZELSKI, P.J.; WHEELER, F.J. Entrapped lumen water in hickory during desorption. *Wood Sci.* 6(4): 356-362. 1974.
- HILLIS, W.E. Defects in fast-grown eucalypts. In: IUFRO MEETING DIVISION 5. Pretoria. Proceedings (2).1973 p.483-486.
- HOLMES, S. & KOZLIK, C.J. Collapse and moisture distribution in presteamed and kiln-dried incense-cedar squares. *For.Prod.J.* 39(2):14 - 16. 1989.
- ILIC, J. & CHAFE, S.C. The relationship between collapse

pulse resistance and depth of electrode penetration of *Eucalyptus regnans* F. Muell. Australian For. Res. 16(3):291-299. 1986.

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

JANKOWSKY, I.P. Variação sazonal da umidade de equilíbrio para madeira de pinus. IPEF. Piracicaba. 31.1985 p.41-46.

JANKOWSKY, I.P. Potencialidade do creosoto de *Eucalyptus* spp como preservativo para madeira. São Paulo. 1986 p.63-64. (Doutorado - Escola Politécnica / USP).

JANKOWSKY, I.P. & HENRIQUEZ, E.Z. Gradiente de umidade e desenvolvimento de tensões na secagem artificial de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. III Encontro Nacional de Secagem. Viçosa. 1981 p. 198 - 216.

KAUMAN, W.G. Cell collapse in wood. Division of Forest Products. CSIRO. SouthMelbourne. 1964. 63 p.

KININMONTH, J.A. Permeability and fine structure of certain hardwoods and effects on drying. I. Transverse permeability of wood to micro-filtered water. For. Res. Inst. Rotorua. New Zealand. p. 127 - 133. 1971.

KININMONTH, J.A. Permeability and fine structure of certain hardwoods and effects on drying. II. Differences in fine structure of *Nothofagus* sapwood and heartwood. For. Res. Inst. Rotorua. New Zealand. p. 32 - 38. 1972.

KININMONTH, J.A. Permeability and fine structure of certain hardwoods and effects on drying. III. Problems in drying

of heartwood. *For. Res. Inst. Rotorua, New Zealand.*
p.26-31. 1973.

KOBAYASHI, Y. Anatomical characteristics of collapsed western red-cedar wood. *Mokuzai Gakkaishi* 31(8):633-639. 1985. (Texto em japonês).

KOBAYASHI, Y. Anatomical characteristics of collapsed western red-cedar wood. III. Anatomical changes in developing of wood collapse. *Mokuzai Gakkaishi* 32(7):492-497. 1986. (Texto em japonês).

KOLLMANN, F.F.P. & CÔTÉ, W.A. *Principles of wood science and Technology.* Tomo I. New York. Springer Verlag. 1968 p.451-471.

KUBINSKY, E. & IFJU, G. Influence of steaming on the properties of red oak. Part II. Changes in shrinkage and related properties. *Wood Sci.* 7(2): 103-110. 1974.

KUD, M.L. & ARGANBRIGHT, D.G. SEM observation of collapse in wood. *IAWA Bull.* 2/3. p. 40-46. 1978.

MACKAY, J.F.G. Influence of steaming on water vapor diffusion in hardwoods. *Wood Sci.* 3(3):156-160. 1971.

MACKAY, J.F.G. Delayed shrinkage after surfacing of high temperature kiln - dried northern aspen dimension lumber. *For. Prod. J.* 26(2):33 - 36. 1976.

MEYER, R.W. & BARTON, G.M. A relationship between collapse and extractives in western red-cedar. *For. Prod. J.* 21(4):58 - 60. 1971.

NEYLON, M. Investigations of ultrasonic and prefreezing treatments for seasoning of Tasmania *Eucalyptus*

delegatensis. Relatório. 1977. 16 p.

NICHOLSON, J.E.; CAMPBELL, G.S.; BLAND, D.L. Association between wood characteristics and growth stress level: a preliminary study. *Madison. Wood Sci.* 5(2):109-112. 1972.

NOCK, H.P. Influência de tratamentos a vapor em algumas propriedades físicas da madeira de imbuia (*Ocotea porosa*). *Revista Floresta* 5(1):50-63. 1974.

PALIN, M.A. & PETTY, J.A. Permeability to water of the cell wall material of spruce heartwood. *Wood Sci.* 15(2): 161-169. 1981.

PALIN, M.A & PETTY, J.A. Permeability to water of the wood cell wall and its variation with temperature. *Wood Sci.* 17(3):187-193. 1983.

PETTY, J.A. & PURITCH, G.S. The effects of drying on the structure and permeability of the wood of *Abies grandis*. *Wood Sci. Techn.* 4:140-145. 1970.

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

SIAU, J.F. *Flow in wood*. Syracuse University Press. p. 41-68. (Syracuse Wood Science, Series 1).

SIMPSON, W.T. Effect of steaming on the drying rate of several species of wood. *For. Prod. J.* 7(3):247-255. 1975.

SIMPSON, W.T. Steaming northern red oak to reduce kiln-drying time. *For. Prod. J.* 26(10):35-36. 1976a.

SIMPSON, W.T. Effect of presteamng on moisture gradiente of northern red oak during drying. *Wood sci.* 8(4): 272 - 276. 1976b.

SIMPSON, W.T. Predrying before press-drying to reduce drying defects in hardwoods. *For. Prod. J.* 32(11/12):77-80. 1982a.

SIMPSON, W.T. Importance of relative humidity and temperature control in conditioning wood products. *Wood and Fiber* 14(2):94 - 103. 1982b.

SIMPSON, W.T. Maximun safe initial moisture content for press-drying oak lumber without honeycomb. *For. Prod. J.* 34(5):47-50. 1984a.

SIMPSON, W.T. Maintaining lumber quality in press drying by manipulating sawing patterns. *Wood and Fiber* 16(3):411 - 426. 1984b.

SKAAR, C. *Water in wood*. Syracuse University Press. 218 p. 1972. (Syracuse Wood Science, Series 4).

STOHR, H.-P. The Seasoning of south african grown *E. grandis* and *E. saligna* sawn timber. *South African Forestry Journal* n° 102. Sep.1977. p. 61-66.

TINTO, J.C. Tratamiento fisico de maderas de eucalipto. Correccion del colapso en *Eucalyptus globulus* Labill. In: *REVISTA DE INVESTIGACION FORESTALES*. Tomo I. Buenos Aires, n°1-2. p. 123-155. 1957.

TOMAZELLO F°, M. Notas de aula. Piracicaba. 1988.

VERMAAS, H.F. Case for the low temperature kiln drying of *E. grandis*. *South African Forestry Journal*, n° 140. Mar.

1987. p. 72-77.

WEATHERWAX, R.C. Collapse of cell-wall pores during drying of cellulose. *J. Colloid and Interface Sci.* 62(3):432-446. 1977.

WILEY, A.T. Collapse in wood. *Texas Forest Service* 20(1):1-2. 1977.

WILKES, J. & WILKINS, A.P. Anatomy of collapse in *Eucalyptus* species. *IAWA Bull.* 8(3):291-295. 1987.