

# AVALIAÇÃO DE UM EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA A PRÉ-SECAGEM DE PARTÍCULAS DE MADEIRA

Carlos Eduardo Camargo de Albuquerque<sup>1</sup>

**RESUMO:** Este trabalho teve o propósito de avaliar o desenvolvimento de um equipamento destinado à pré-secagem de partículas de madeira, utilizadas na produção de chapas de madeira aglomerada. Foram analisados os efeitos dos parâmetros do ritmo de secagem, em função do tempo de pré-secagem, granulometria das partículas e a velocidade do ar. O equipamento de pré-secagem mostrou-se viável e eficiente, sendo indicada a adoção deste sistema de pré-secagem pelas indústrias de chapas de partículas.

Palavras-chave: Ritmo de pré-secagem, pré-secagem de partículas, circulação forçada de ar ambiente.

## DEVELOPMENT OF PRE-DRYING SYSTEM OF PINUS AND EUCALIPTUS PARTICLEBOARD PRODUCTION

**ABSTRACT:** This trial aimed at assessing the development of an equipment for pre-drying wood particles used in the production of particleboards, where the pre-drying rhythm effects have been analysed, in accordance with pre-drying time, particles geometry and air velocity. The pre-drying equipment showed to be accomplishable under the efficiency and feasibility view point and, therefore, can be adopted by the particleboard industries.

Key words: Pre-drying rhythm, particles pre-drying, forced ambient air.

### 1. INTRODUÇÃO

Há aproximadamente 3000 anos, o homem passou a conhecer e a trabalhar com materiais bastante versáteis à base de madeira, tais como os laminados e os compensados, que surgiram no Antigo Egito; as chapas de fibras, utilizadas a partir do século VI a.C., no Japão e as chapas de partículas de madeira e os briquetes,

que remontam ao início do século XX (Kollmann, 1975; Tsoumis, 1991).

O uso de chapas de composição à base de madeira tem aumentado significativamente no mundo, principalmente pelas indústrias do setor moveleiro e da construção civil, que se encontram em plena evolução tecnológica.

Além disso, desde o surgimento das crises energéticas, alguns subprodutos da indústria

---

<sup>1</sup> Professor Assistente, M.Sc. Departamento de Produtos Florestais, IF, UFRRJ, Rodovia BR 465, km 07, Seropédica, RJ. CE: 23890-000. ccamal@aol.com.

florestal passaram a representar uma promissora fonte de energia (Jenkins, 1977), a exemplo da briquetagem (Antunes, 1982).

Com relação à produção de chapas de composição, em 1991, a produção nacional de chapas de partículas de madeira foi de 660 mil m<sup>3</sup> (FAO, 1993), passando para 1.150 mil m<sup>3</sup> em 1996, com previsão de alcançar 1.630 mil m<sup>3</sup> em 2001. Outrossim, novas unidades industriais se instalam no país, a exemplo da recente inauguração das unidades da Tafisa e da Duratex, na produção de chapas MDF, além da previsão para instalação de linhas produtoras de chapas OSB, a partir de 2001 (Tomaselli & Delespinasse, 1997).

Deve-se ressaltar que a secagem das partículas de madeira é uma importante operação, que pode limitar a capacidade produtiva das indústrias. A baixa eficiência dos secadores pode causar o “estrangulamento” da produção de chapas de partículas, além de provocar aumentos no consumo energético final.

Em uma pré-secagem por circulação forçada de ar ambiente, pode-se eliminar a água de capilaridade de forma econômica, reduzindo o tempo de secagem nos tambores rotativos (Harris, 1989).

Este trabalho visou avaliar o ritmo de secagem de um novo sistema de pré-secagem de partículas de madeira, por meio da circulação forçada do ar ambiente. A disponibilidade deste novo sistema de pré-secagem poderia proporcionar a redução do tempo de secagem e da energia dispendida, além de possibilitar a minimização do defeito de colapso, que ocorre durante a retirada da água de capilaridade sob altas temperaturas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Preparação do material lenhoso

O material lenhoso utilizado no presente estudo constituiu-se de duas misturas de partículas de madeira, sendo uma de *Eucalyptus saligna* Smith. e *Pinus elliottii* Engelm. (A) e outra

de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L. (B). Esse material foi fornecido por duas indústrias de chapas de aglomerado, sendo cada porção proveniente das respectivas linhas de produção, após os processos de classificação e de secagem, não apresentando resíduos. Em relação à mistura de *Eucalyptus saligna* Smith. e *Pinus elliottii* Engelm., não houve condições de verificar as proporções exatas relativas a cada espécie, uma vez que as mesmas são variáveis na empresa cedente. O mesmo ocorre com as procedências dos povoamentos florestais que originaram a mistura. A mistura formada por partículas de madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e de *Pinus taeda* L., também em proporções não definidas pela empresa cedente, originou-se de árvores com idades entre 10 a 12 anos.

O material lenhoso foi acondicionado em sacos plásticos devidamente identificados e, posteriormente, conduzido ao Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira do Instituto de Florestas, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Realizou-se a saturação das partículas de madeira por meio da imersão em água, em um tanque com a capacidade de 1.000 litros, para que fossem iniciadas as análises.

### 2.2. Montagem do equipamento de pré-secagem

O equipamento projetado para a pré-secagem das partículas de madeira constou, basicamente, de duas estruturas de madeira, além de um conjunto motor-exaustor. A primeira estrutura, aberta em sua porção superior, foi planejada para acondicionar cinco bandejas com fundos de tela de 0,64 mm. Através dela fluía o ar, depois de atravessar uma camada de partículas de madeira com, aproximadamente, 2 centímetros de espessura. Um duto flexível, com 12 centímetros de diâmetro, permitiu interligá-la à segunda estrutura, através de um orifício aberto em uma das suas extremidades. O ar, ao passar através da segunda estrutura de madeira, era medido por um anemômetro instalado em seu interior. O fluxo

de ar foi promovido, por exaustão, por um conjunto motor-ventoinha, de 1 HP e 220 volts. Para tanto, interligou-se a segunda estrutura de madeira ao mesmo, em série, por meio de um duto flexível com 12 centímetros de diâmetro. A Figura 1 apresenta o esquema do equipamento.

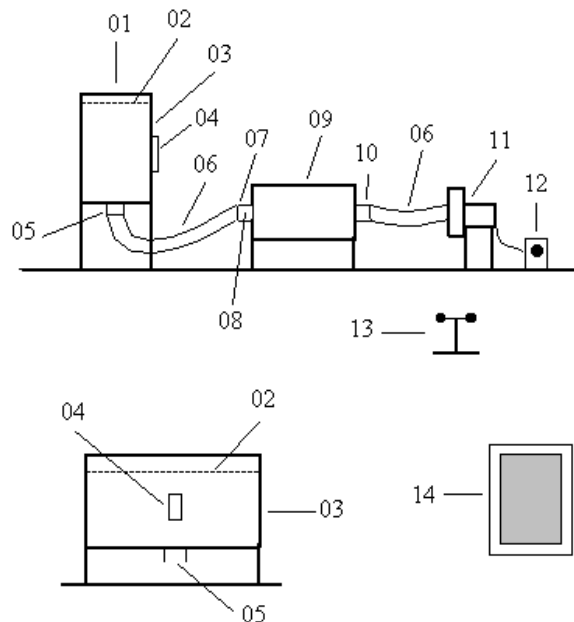
### 2.3. Monitoramento das condições ambientais

A temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas, de forma intensiva, no decorrer da secagem. Para tanto, utilizou-se um conjunto psicométrico, instalado do lado de fora da estrutura de captação do ar (Figura 1).

### 2.4. Pré-secagem das partículas

As misturas de partículas, depois de saturadas, tiveram as suas respectivas umidades determinadas pela norma ABCP M2/71. Em seguida, foram acondicionadas em camadas com 2 centímetros de espessura, no interior de bandejas com fundos de tela de 0,64 mm e área útil de 0,05 m<sup>2</sup>. As bandejas foram encaixadas no pré-secador, no ponto de captação do ar (Figura 1).

Para cada mistura de partículas de madeira foram analisados três tempos de secagem, três granulometrias das partículas e três velocidades do ar, obtidas por meio da utilização de uma,



onde: 01-Área de captação do ar; 02-Localização das bandejas; 03-Estrutura de captação do ar; 04-Conjunto psicométrico; 05-Saída de ar; 06-Duto flexível condutor do ar; 07-Entrada de ar; 08-Localização do anemômetro; 09-Estrutura para monitoramento e instalação do anemômetro; 10-Saída de ar; 11-Conjunto motor-ventoinha; 12-Medidor de consumo de energia; 13-Anemômetro; 14-Bandeja com fundo de tela.

**Figura 1.** Esquema do equipamento desenvolvido para pré-secagem de partículas

*Figure 1.* A sketch of the developed particles pre-drying system

três ou cinco bandejas, colocadas no equipamento. A combinação das variáveis estudadas, com um número de cinco repetições por tratamento, fez um total de 270 análises, cuja seqüência de implementação foi conseguida por meio de aleatorização. A Tabela 1 mostra os tempos (min), as granulometrias das partículas (mm), o número de bandejas em teste, com as suas respectivas áreas (m<sup>2</sup>) e as velocidades do ar (m/s), adotados no decorrer da secagem.

### 2.5. Análises dos dados

Com base nas experimentações foram geradas as seguintes variáveis dependentes: massa de água evaporada (g), ritmo de evaporação da água (g/min), relação da massa de água evaporada por área útil de bandeja (g/m<sup>2</sup>).

Os valores observados foram analisados por meio de análise de variância, de testes de correlação e de comparações entre as médias dos tratamentos, pelo teste de Tukey, adotando-se o nível de 95% de probabilidade.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Pré-secagem das misturas de partículas de madeira

Como o processo utilizado foi o de pré-secagem por circulação forçada de ar à temperatura ambiente, ou seja, sem promover qualquer aquecimento, praticamente se eliminou o gradi-

ente de temperatura. Evitou-se, assim, o colapso das partículas de *Eucalyptus saligna*, espécie susceptível a este problema de secagem, que ocorre durante a eliminação da água de capilaridade. As misturas de partículas foram analisadas separadamente, sendo que os resultados observados não variaram significativamente entre os materiais estudados. Mesmo assim, observaram-se menores massas de água evaporada e reduções no ritmo de secagem, quando da análise da mistura composta por *Eucalyptus saligna* Smith e *Pinus elliottii* Engelm. Este resultado, em parte, deve-se, talvez, à presença das partículas de eucalipto, madeira cuja densidade básica média é igual a 0,69 g/cm<sup>3</sup> (Corrêa, 1931; Alfonso, 1982; Resende et al., 1993; Brito, 1993), superior àquelas apresentadas pelos *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* Engelm., de 0,44 e 0,47 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente (Brito, 1984). Isto, provavelmente, contribuiu para dificultar a evaporação da água. Madeiras mais densas normalmente secam mais lentamente que as mais leves, por serem as primeiras geralmente menos permeáveis à passagem de líquidos (Ponce e Watai, 1985; Martins, 1988).

### 3.2. Redução da umidade das partículas de madeira

As médias das umidades inicial e final das partículas de madeira (%), e as respectivas reduções das umidades (%), em função do tempo de secagem (min), são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 1.** Tempos de secagem (min), granulometria das partículas (mm), número de bandejas em teste com as áreas correspondentes (m<sup>2</sup>) e velocidade do ar (m/s)

*Table 1.* Drying times (min), particles geometry (mm), number of test trays with its respective areas (m<sup>2</sup>) and air speed (m/s).

Tempo (minutos)	Granulometria (mm)	Bandejas em teste	Área (m <sup>2</sup> )	Velocidade do ar (m/s)
20	2,80	1	0,05	2,52
40	4,75	3	0,15	0,84
60	6,30	5	0,25	0,50

**Tabela 2.** Médias das umidades inicial e final das partículas de madeira (%), com as respectivas reduções das umidades (%), em função do tempo de secagem (min)\***Table 2.** Mean values of initial and final particles moisture (%) with its respective moisture reduction (%) by drying time (min)

Mistura**	Tempo de secagem (min)	Umidade inicial média (%)	Umidade final média (%)	Redução da umidade (%)
A	20	144,41	56,59	87,82
	40	151,27	26,01	125,26
	60	150,10	19,15	130,95
B	20	163,11	73,56	89,55
	40	163,96	39,59	124,37
	60	166,25	23,38	142,87

\* Área de captação do ar = 0,05 m<sup>2</sup>; \*\* Mistura A: *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliotii*; Mistura B: *Pinus taeda* e *Pinus elliotii*.

Foram registradas reduções mais acentuadas da porcentagem de umidade, em função do tempo de secagem, utilizando-se o tempo de 20 minutos. Este resultado deve-se, provavelmente e, em parte, ao fato de que, na fase inicial da secagem, retirou-se a água de capilaridade que se encontrava mais próxima à superfície das partículas de madeira. Com o transcorrer do processo, este tipo de água tende a ser eliminado, atingindo-se o ponto de saturação das fibras, quando se inicia a eliminação da água de impregnação, de retirada mais difícil.

A Tabela 3 apresenta as comparações entre as médias das reduções de umidade (%), em função do tempo de secagem (min) e da mistura de partículas de madeira.

Após análise pelo teste de Tukey, verificou-se que ocorreram variações nas massas de água evaporada, medidas em variações percentuais, em função dos tempos de secagem adotados. Na mistura com as partículas de *Eucalyptus saligna*, a diferença entre as reduções de umidade foi, em termos absolutos, menor entre os tempos de pré-secagem de 40 e de 60 minutos, quando comparada com a diferença observada nos mesmos tempos, na segunda mistura (5,69% e 18,50%, respectivamente). A alteração no tempo de secagem de 40 para 60 minutos não foi suficiente para alterar a taxa média de redução de umidade na mistura de partículas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliotii*.

tii. Isto deve-se, em parte, ao fato de que a madeira de *Eucalyptus saligna* apresenta densidade superior àquelas dos *Pinus* estudados. Desta propriedade resultou uma menor capacidade de absorção de água durante o processo de saturação, o que levou a mistura com partículas de *Eucalyptus saligna* a atingir a umidade de saturação das fibras antes dos 40 minutos de secagem. Ao ser atingido o ponto de saturação das fibras, foi iniciada a retirada da água de impregnação, de difícil evaporação à temperatura ambiente, o que aproximou as médias das reduções de umidade (%), tornando-as estatisticamente iguais.

Pelo exposto, deduz-se que, para a mistura de partículas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliotii*, o tempo de secagem recomendável, dentre os estudados, seria o de 40 minutos. Já para a mistura de *Pinus taeda* e *Pinus elliotii*, o tempo de secagem recomendável seria o de 60 minutos, uma vez que todas as médias das reduções de umidade (%) diferiram entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey (Tabela 3).

Por meio da Correlação de Pearson entre a redução de umidade (%) e o tempo de secagem (min), para as duas misturas de partículas, verificou-se a existência de correlações significativas entre a redução de umidade (%) e o tempo de secagem (min) para as misturas estudadas (Figuras 2 e 3; Tabela 4).

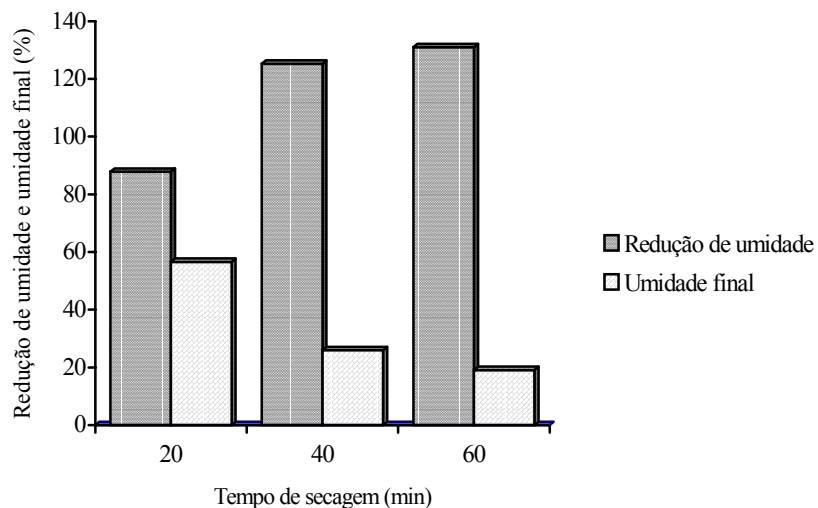
**Tabela 3.** Comparações entre as médias das reduções de umidade (%), em função do tempo de pré-secagem (min), para as duas misturas de partículas.

**Table 3.** Mean values of moisture reduction (%) by pre-drying time (min) for two particle mixtures

Mistura*	Tempo de secagem (min)	Observação	Redução de Umidade(%)**	Teste Tukey
A	60	45	130,95	a
	40	45	125,26	a
	20	45	87,82	b
B	60	45	142,87	a
	40	45	124,37	b
	20	45	89,55	c

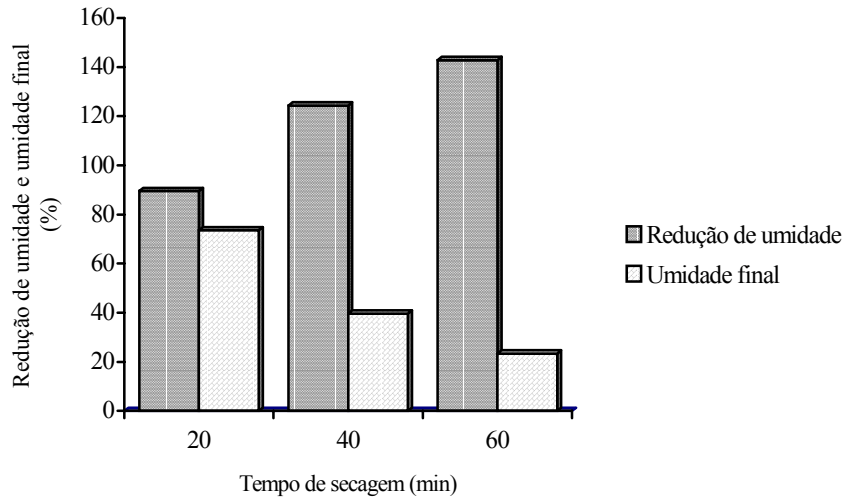
\* Mistura A: *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*; Mistura B: *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*;

\*\*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey.



**Figura 2.** Médias da redução de umidade (%) e da umidade final (%) da mistura de partículas de *Eucalyptus as ligna* e *Pinus elliottii*, em função dos tempos de secagem (min)

**Figure 2.** Mean values of moisture reduction (%) and final moisture (%) of *Eucalyptus saligna* and *Pinus elliottii* particle mixtures by drying times (min).



**Figura 3.** Médias da redução de umidade (%) e umidade final (%) da mistura de partículas de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, em função dos tempos de secagem (min)

**Figure 3.** Mean values of moisture reduction (%) and final moisture (%) of *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* particle mixture by drying times (min).

**Tabela 4.** Correlação de Pearson entre a redução de umidade (%) e o tempo de secagem (min) para as duas misturas de partículas.

**Table 4.** Pearson's correlation between moisture reduction (%) and drying time (min) for two particles mix tures

Mistura de partículas*	Observação	Correlação	T	Significância
A	135	0,5549	7,6932	0,0001
B	135	0,5906	8,4394	0,0001

\* Mistura A: *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*; Mistura B: *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.

Segundo as empresas fornecedoras do material da pesquisa, as partículas de madeira, após passarem pelo processo de picagem e seleção, entram no processo de secagem com um teor de umidade na faixa de 60% a 100%. A utilização de um sistema de pré-secagem por circulação forçada do ar ambiente pode retirar a água de capilaridade das partículas, dependendo das condições ambientais, num período de funcionamento abaixo de 20 minutos. Na

presente experimentação, foram observadas reduções de umidade de 87,82% e de 89,55%, respectivamente, nas misturas de partículas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii* e de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, em um período de secagem de 20 minutos, num ambiente com temperatura média de 28°C e umidade relativa média de 69% (Tabelas 2 e 3).

### 3.3. Ritmo da pré-secagem das partículas de madeira

Foram realizadas análises que relacionaram a quantidade de água evaporada, em gramas, em função do tempo de secagem (min) e da área de captação do ar ( $m^2$ ).

#### 3.3.1. Ritmo da pré-secagem em função do tempo da pré-secagem

A Tabela 5 e a Figura 4 apresentam as comparações entre as médias do ritmo de secagem das partículas ( $g/m^2/min$ ), em função do tempo de secagem (min), para as duas misturas de partículas de madeira.

Ritmos de secagem mais acentuados foram observados nos menores tempos de secagem, nas duas misturas de partículas. Isto ocorreu devido ao fato de que, no início da secagem, a umidade evaporada é aquela que se encontra nos espaços livres, próximos à superfície das partículas, de evaporação relativa-

mente rápida. Com o transcorrer do tempo de secagem, essa umidade, de fácil eliminação, foi totalmente retirada, até ser atingida a umidade de saturação das fibras, quando se iniciou a evaporação da água de impregnação, diminuindo o ritmo de secagem. A diminuição do ritmo de secagem foi observada após o tempo de 40 minutos de secagem, sendo mais evidente após o tempo de 60 minutos.

A correlação de Pearson (Tabela 6) entre o ritmo de secagem ( $g/m^2/min$ ) e tempo de secagem (min), para as duas misturas de partículas de madeira, indica a existência de correlações negativas significativas, entre o ritmo de secagem ( $g/m^2/min$ ) e o tempo de secagem (min). Aumentos nos tempos de secagem levam à diminuição do ritmo de secagem das partículas de madeira, para as duas misturas estudadas.

**Tabela 5.** Comparações entre as médias do ritmo de secagem das partículas ( $g/m^2/min$ ), em função do tempo de secagem (min), para as duas misturas de partículas\*

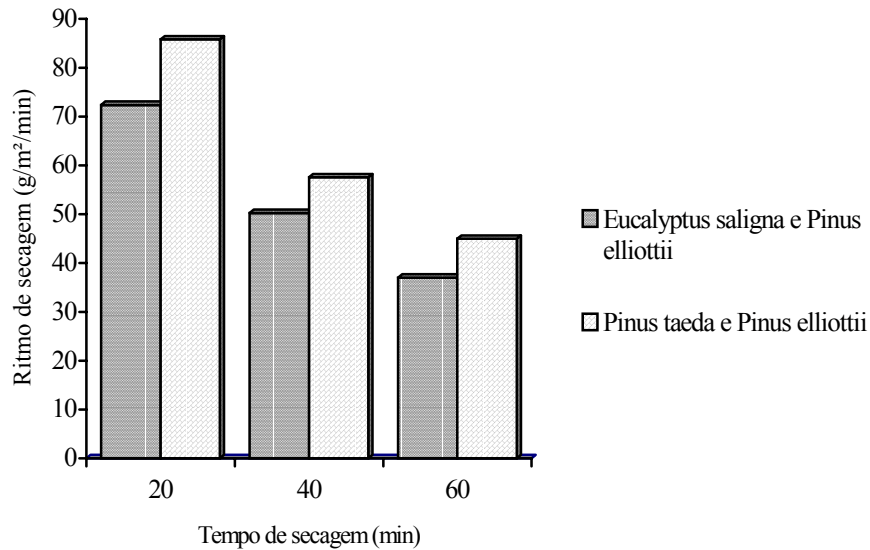
*Table 5. Comparison of mean particle drying rhythm ( $g/m^2/min$ ) by drying time (min) to the two particle mix tures*

Mistura**	Tempo de secagem (min)	Observação	Ritmo de secagem ( $g/m^2/min.$ )	Teste Tukey
A	20	45	72,33	a
	40	45	50,21	b
	60	45	37,01	c
B	20	45	85,76	a
	40	45	57,52	b
	60	45	44,97	c

\* Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey;

\*\* Mistura A: *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*; Mistura B: *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.





**Figura 4.** Comparações entre as médias do ritmo de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ), em função do tempo de secagem (min), para as duas misturas de partículas

**Figure 4.** Comparison between the mean values of drying rhythm ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ) by drying time (min) to the two particles mixtures.

**Tabela 6.** Correlação de Pearson entre o ritmo de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ) e o tempo de secagem (min), para as duas misturas de partículas

**Table 6.** Pearson's correlation between drying rhythm ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ) and drying time (min) to the two particles mixtures

Mistura de partículas*	Observação	Correlação	T	Significância
A	135	-0,6691	-10,3841	0,0001
B	135	-0,6288	-9,3258	0,0001

\* Mistura A: *Eucalyptus saligna* e *Pinus eliottii*; Mistura B: *Pinus taeda* e *Pinus eliottii*.

### 3.3.2. Ritmo da pré-secagem em função da granulometria das partículas

Foram analisados os ritmos de secagem em função das diferentes granulometrias das par-

tículas, para as duas misturas estudadas. A Tabela 7 e a Figura 5 apresentam as comparações entre as médias do ritmo de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ), em função da granulometria (mm), para as duas misturas de partículas de madeira.

Os ritmos de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ), em função dos resultados das comparações (Tabela 7), parecem ter sido afetados não somente pela granulometria média das partículas (mm), mas também pelo tipo de mistura. Secagens rápidas foram observadas ao serem utilizadas partículas com granulometrias menores, sendo isto válido para as duas misturas. Com a diminuição da dimensão média das partículas de madeira, ocorreram condições que favoreceram a saída da umidade de forma rápida. Quando comparados entre si, foram notados ritmos de secagem com valores absolutos superiores para a mistura de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. A ausência de partículas de *Eucalyptus saligna* nessa mistura pode ter sido a causa desses ritmos de secagem.

No caso da mistura de *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*, parece que os incrementos no ritmo de secagem (%) foram influenciados tanto pela granulometria das partículas como pelas características anatômicas das espécies de *Eucalyptus saligna*, *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. Todavia, um maior aumento percentual no ritmo de secagem foi observado ao variar-se a granulometria das partículas de 6,30 para 2,80 mm (16,83%). A

análise isolada dos incrementos no ritmo de secagem expressa que, nesse caso, a granulometria de 2,80 mm perderia a umidade mais rapidamente. Portanto, é a mais indicada (Tabela 8).

Uma alteração percentual no ritmo de secagem de 0,42% ocorreu após a passagem da granulometria de 6,30 para 4,75 mm, e de 21,44% na passagem de 6,30 para 2,80 mm, na mistura composta por partículas de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. Isto deve-se, em parte, à similaridade anatômica das duas espécies, o que tornou os resultados influenciados pela granulometria das partículas. Tudo indica que a redução dimensional das partículas aumenta a permeabilidade das mesmas (Tabela 8).

A correlação de Pearson do ritmo de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ) e a granulometria (mm), para as duas misturas de partículas de madeira (Tabela 9), apresentaram correlações negativas significativas observadas entre o ritmo de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ) e a granulometria das partículas (mm). Dessa forma, aumentos na granulometria quase sempre implicam em menores ritmos de secagem. Esse comportamento fica bastante evidenciado na variação granulométrica de 6,30 para 2,80 mm, para as duas misturas de partículas de madeira (Tabela 8).

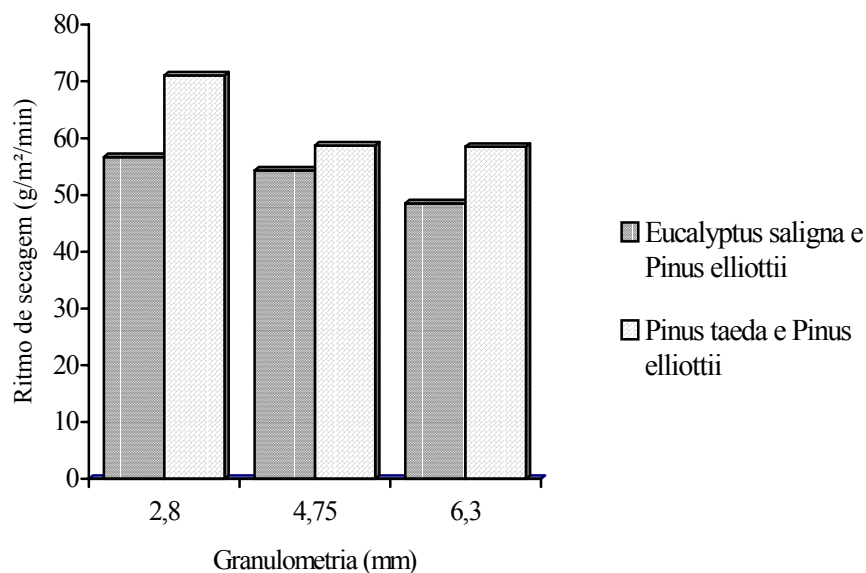
**Tabela 7.** Comparações entre as médias do ritmo de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ), em função da granulometria (mm), para as duas misturas de partículas\*

**Table 7.** Comparison between the mean values of drying rhythm ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ) by particle geometry (mm) to the two particles mixtures

Mistura**	Granulometria (mm)	Observação	Ritmo de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min.}$ )	Teste Tukey
A	2,80	45	56,69	a
	4,75	45	54,34	a
	6,30	45	48,52	b
B	2,80	45	71,03	a
	4,75	45	58,73	b
	6,30	45	58,49	b

\* Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey;

\*\* Mistura A: *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*; Mistura B: *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.



**Figura 5.** Ritmo de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ), em função da granulometria (mm), para as duas misturas de partículas

**Figure 5.** Drying rhythm ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ) by particles geometry (mm) to the two particle mixtures.

**Tabela 8.** Incremento no ritmo de secagem (%), em função da variação na granulometria (mm), para as duas misturas de partículas

**Table 8.** Increase of drying rhythm (%) by particles geometry (mm) to the two particles mixtures

Mistura*	Variação granulométrica (mm)		Incremento no ritmo de secagem (%)
A	4,75	→ 2,80	4,32
	6,30	→ 4,75	11,99
	6,30	→ 2,80	16,83
B	4,75	→ 2,80	20,94
	6,30	→ 4,75	0,42
	6,30	→ 2,80	21,44

\* Mistura A: *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*; Mistura B: *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.

**Tabela 9.** Correlação de Pearson entre o ritmo de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ) e a granulometria (mm), para as duas misturas de partículas

**Table 9.** Pearson's correlation between drying rhythm ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ) and particles geometry (mm) to the two particle mixtures

Mistura de partículas*	Observação	Correlação	T	Significância
A	135	-0,1519	-1,7729	0,0381
B	135	-0,1966	-2,3129	0,0104

\* Mistura A: *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*; Mistura B: *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.

### 3.3.3. Ritmo da pré-secagem em função da velocidade do ar

O equipamento utilizado apresentou uma capacidade de ventilação de cerca de  $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$ , com valores para a velocidade do ar de 2,52; 0,84 e 0,50 m/s, utilizando-se uma, três e cinco bandejas, respectivamente.

Foram analisados os efeitos das três diferentes velocidades do ar (2,52, 0,84 e 0,50 m/s), sobre o ritmo de secagem, para as duas misturas de partículas de madeira.

Comparações entre as médias do ritmo de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ), em função da velocidade

do ar (m/s), para as duas misturas de partículas de madeira (Tabela 10), apresentaram resultados em que os ritmos de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ) foram significativamente afetados pelas alterações na velocidade do ar (m/s), nas duas misturas de partículas analisadas. Em termos absolutos, parece que as melhores respostas foram observadas ao utilizar-se velocidade do ar equivalente a 0,84 m/s. Isso porque nesse caso, a velocidade do ar foi aumentada em apenas 0,34 m/s, para se atingir incrementos significativos no ritmo de secagem, nas duas misturas de partículas (23,52% e 27,37%, respectivamente).

A correlação de Pearson entre o ritmo de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ) e a velocidade do ar (m/s),

para as duas misturas de partículas de madeira (Tabela 11), apresentou correlações positivas de significância relativamente baixa entre as variáveis ritmo de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ) e velocidade do ar (m/s). Aumentos na velocidade do ar são seguidos por aumentos no ritmo de secagem das partículas de madeira, porém, sem obedecer a uma proporcionalidade. Ou seja, a partir de uma determinada velocidade do ar, os aumentos no ritmo de secagem tendem a diminuir, resultando na ocorrência de correlações positivas de significância relativamente baixa.

A Tabela 12 e a Figura 6 apresentam os incrementos percentuais no ritmo de secagem (%), em função das alterações na velocidade do ar (m/seg), para as duas misturas de partículas de madeira.

A triplicação da velocidade do ar, de 0,84 para 2,52 m/s, proporcionou um menor incremento no ritmo de secagem, quando comparado àquele verificado em decorrência do aumento da velocidade de 0,50 para 0,84 m/s, apesar da primeira alteração ter sido numa amplitude superior. Aos aumentos na velocidade do ar corresponderam aumentos no ritmo de secagem, mas não de forma proporcional, conforme demonstram os incrementos percentuais (Figura 6). O ritmo de secagem das partículas de madeira depende de vários fatores, sendo que a velocidade de passa-

gem do ar através da camada de partículas é um dos que mais interfere.

**Tabela 10.** Comparações entre as médias do ritmo de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ), em função da velocidade do ar ( $\text{m/s}$ ), para as duas misturas de partículas\*

**Table 10.** Comparison between the mean values of drying rhythm ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ) by air speed ( $\text{m/s}$ ) to the two particle mixtures.

Mistura**	Velocidade do ar ( $\text{m/s}$ )	Observação	Ritmo de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ )	Teste Tukey
A	2,52	45	63,41	a
	0,84	45	53,13	b
	0,50	45	43,02	c
B	2,52	45	75,49	a
	0,84	45	63,17	b
	0,50	45	49,59	c

\* Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey;

\*\* Mistura A: *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*; Mistura B: *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.

**Tabela 11.** Correlação de Pearson entre o ritmo de secagem ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ) e a velocidade do ar ( $\text{m/s}$ ), para as duas misturas de partículas

**Table 11.** Pearson's correlation between drying rhythm ( $\text{g/m}^2/\text{min}$ ) and air speed ( $\text{m/s}$ ) to the two particle mixtures

Mistura de partículas*	Observação	Correlação	T	Significância
A	135	0,3614	4,4700	0,0001
B	135	0,3688	4,5752	0,0001

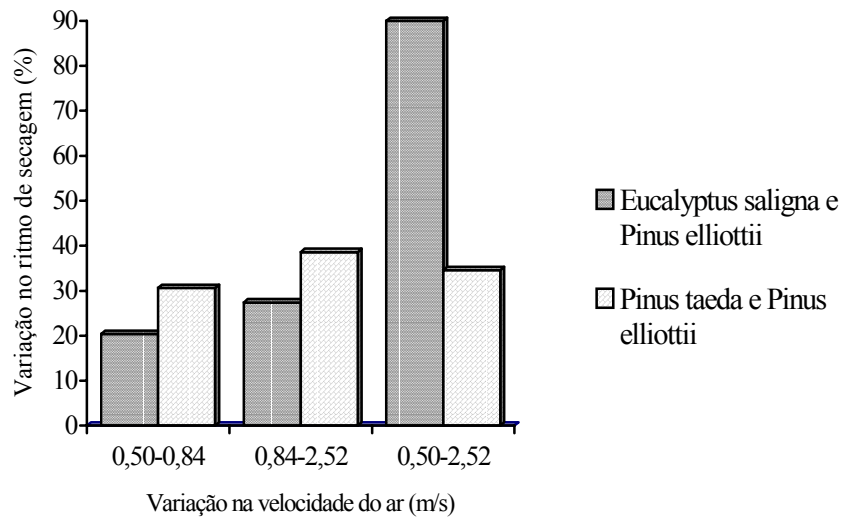
\* Mistura A: *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*; Mistura B: *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.

**Tabela 12.** Incremento no ritmo de secagem (%), em função da variação na velocidade do ar ( $\text{m/s}$ ), para as duas misturas de partículas

**Table 12.** Increase of drying rhythm (%) by air speed ( $\text{m/s}$ ) to the two particle mixtures

Variação na velocidade do Ar ( $\text{m/s}$ )			Mistura de partículas*	Incremento no ritmo de secagem (%)
0,50	→	0,84	A	23,52
			B	27,37
0,84	→	2,52	A	19,34
			B	19,50
0,50	→	2,52	A	47,41
			B	52,21

\* Mistura A: *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*; Mistura B: *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.



**Figura 6.** Incremento no ritmo de secagem (%), em função das alterações na velocidade do ar (m/s), para as duas misturas de partículas.

**Figure 6.** Increase of drying rhythm (%) by air speed (m/s) to the two particle mixtures.

#### 4. CONCLUSÕES

Após os testes com o equipamento, projetado para a pré-secagem de partículas de madeira, sob diferentes condições de trabalho, chegou-se às seguintes conclusões:

O equipamento mostrou-se eficiente na secagem de partículas de madeira.

Partículas de madeira com alta densidade apresentam ritmos de pré-secagem mais lentos, quando comparadas com partículas de madeira menos densa. Isto ocorreu na mistura com as partículas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*, que apresentou, em termos absolutos, ritmos de secagem inferiores àqueles observados na mistura de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.

O tempo de pré-secagem de 20 minutos foi o que apresentou as mais elevadas percenta-

gens de retirada de umidade das partículas de madeira, em ambas as misturas.

Apesar da mistura com partículas de *Eucalyptus saligna* ter apresentado um ritmo de secagem mais reduzido, as reduções percentuais da umidade foram semelhantes entre as duas misturas, dentro dos respectivos tempos de pré-secagem.

Os ritmos de secagem se comportaram diferentemente dentro dos tempos analisados. Os maiores ritmos foram observados no início do processo, diminuindo com o transcorrer da pré-secagem, coincidindo com a retirada da água de capilaridade e água de impregnação, respectivamente.

A granulometria média das partículas de madeira interfere no ritmo da secagem. Quanto mais elevada a granulometria das partículas,

mais reduzido será o ritmo da secagem, devido à superior superfície de contato com o ar e permeabilidade mais elevada das partículas mais reduzidas.

A velocidade do ar tem uma influência significativa sobre a pré-secagem das partículas de madeira. Fixando-se as demais condições de pré-secagem, como a área de captação de ar, o tipo das partículas, o tempo de pré-secagem e as condições ambientais, a quantidade de água evaporada será superior, quanto mais elevada for a velocidade do ar;

A relação entre o aumento da velocidade do ar e o incremento da quantidade de água evaporada não é direta, ou seja, com o progressivo aumento da velocidade do ar, o ritmo de evaporação da umidade das partículas aumenta até um certo ponto, quando, então, começa a decrescer.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFONSO, V. A. Caracterização anatômica de madeira e casca das principais espécies de *Eucalyptus* do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, São Paulo. **Anais....** São Paulo: SBS/SBEF, 1982. p. 720-725.
- ANTUNES, R. C. Briquetagem de carvão vegetal. In: PENEDO, W. R. **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1982. p. 197-206. (CETEC. Publicações Técnicas, 8)
- BRITO, E. O. **A viabilidade de utilização de espécies de pinus para a produção de chapas de composição estruturais "waferboards"**. 1984. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BRITO, J. O. Estudos preliminares de retificação térmica da madeira de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais....** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. p. 774.
- CORRÊA, M. P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1931. v. 2.
- FAO-YEARBOOK FOREST PRODUCTS (1980 - 1991). Roma: FAO, 1993. 335 p. (FAO Forestry series, 26).
- HARRIS, R. A. Accelerated ambient air-drying of wood fuel. **Forest Products Journal**, Madison, v. 39, n. 5, p. 34-36, May 1989.
- JENKINS, N. Will biomass energy compete for forest industries raw materials? **World Wood**, San Francisco, v. 18, n. 12, p. 20, Nov. 1977.
- KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. v. 2, 703 p.
- MARTINS, V. A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília: IBDF/DPq-LPF, 1988. 56 p.
- PONCE, R. M.; WATAI, L. T. **Manual de secagem da madeira**. Brasília: MIC/STI-IPT, 1985. 70 p. (Documentos, 22)
- RESENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; MARTINEZ, J. C. Estudo das variações da massa específica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus saligna*. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais....** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. p.629-635.
- TOMASELLI, I.; DELESPINASSE, B. A indústria de painéis no Brasil. **Informativo STCP**, Curitiba, v. 1, n. 1, p.16-20, mar. 1997.

TSOUMIS, G. T. **Science and technology of wood:** structure, properties, utilization. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.