



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
DEPARTAMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS

**AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTO MEDIDOR ELÉTRICO RESISTIVO DE
UMIDADE DA MADEIRA UTILIZANDO AMOSTRAS DE EUCALIPTO E PINUS**

JORGE TADEU MAGALHÃES PEREIRA

Orientador: Alexandre Monteiro de Carvalho

SEROPÉDICA, RJ
DEZEMBRO DE 2008



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
DEPARTAMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS

**AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTO MEDIDOR ELÉTRICO RESISTIVO DE
UMIDADE DA MADEIRA UTILIZANDO AMOSTRAS DE EUCALIPTO E PINUS**

JORGE TADEU MAGALHÃES PEREIRA

Sob a orientação do professor
Alexandre Monteiro de Carvalho

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SEROPÉDICA, RJ
DEZEMBRO DE 2008

**AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTO MEDIDOR ELÉTRICO RESISTIVO DE
UMIDADE DA MADEIRA UTILIZANDO AMOSTRAS DE EUCALIPTO E PINUS**

JORGE TADEU MAGALHÃES PEREIRA

APROVADA EM: 18/12/2008

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho - DPF/IF/UFRRJ
(Orientador)

Prof. Dr. João Vicente Figueiredo Latorraca - DPF/IF/UFRRJ

Prof^ª Msc. Natália Dias de Souza - DPF/IF/UFRRJ

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por ter me guiado, protegido e abençoado ao longo dessa jornada e durante toda minha vida.

À minha querida mãe, Maria das Graças Magalhães Pereira, pelo exemplo de mulher que é, por me educar, me ensinar valores dos quais jamais me desfarei e pelas noites viradas na máquina de costuras para que eu aqui chegasse.

Ao meu pai, José Leitão Pereira, pelo apoio dado ao sempre me incentivar a estudar, pelo café da manhã preparado e pela companhia durante as caminhadas até a Dutra.

Ao meu irmão, José Leonardo, pela amizade e força.

Ao professor, orientador e amigo Alexandre Monteiro de Carvalho por ter acreditado no meu potencial e pelo estímulo.

A todos os professores que de alguma forma contribuíram para este momento.

À Érika Resende por ter me resgatado para os caminhos da Academia.

Ao ex-vereador Humberto Barbosa por ter me acolhido em sua propriedade durante meu estudo no Pré-vestibular.

À minha ex-professora Sônia por ter me ensinado o valor da educação.

Aos amigos, Ariadine Braga e Wagner Florêncio, por terem se tornado meus irmãos e companheiros durante esses anos de Universidade.

Ao amigo, Denis Carvalho, pelas caronas até a UFRuralRJ.

Aos colegas de curso: Penha Moreira, por permitir meu auxílio em seus trabalhos e Rafael Borba, pela amizade e ajuda nesse projeto.

A todos os técnicos da UFRuralRJ que de alguma maneira me ajudaram durante a estadia na Instituição.

A minha comunidade do Bairro Coletivo, em Seropédica, pelas orações e palavras de coragem e ânimo.

A todos os meus amigos pelo companheirismo e partilha do conhecimento.

Ao Proic – UFRRJ pela bolsa de pesquisa e à Faperj pelo auxílio financeiro na concretização do projeto.

Ao meu falecido avô Antônio Magalhães de Negreiros, cujo nome jamais deverá ser esquecido, devido à conduta exemplar, sabedoria, alegria de viver e pelos valores passados a mim e a seus demais descendentes.

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar a eficiência do aparelho medidor elétrico de umidade da madeira quando comparado ao método gravimétrico, através da correlação linear simples entre ambos os métodos e construção de curvas de secagem com os teores de umidade determinados pelo aparelho e pelo método da estufa, em amostras dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Dividiu-se o experimento em duas fases: na primeira, visou-se testar a eficiência do medidor elétrico em amostras de *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*, com a elaboração das curvas de secagem; na segunda fase, utilizou-se amostras de *Eucalyptus grandis* e visou-se determinar a precisão de cada calibração, das 12 testadas, posteriormente obtendo-se um fator de correção para cada calibração com a finalidade de aproximar os valores obtidos pelo aparelho aos valores reais de umidade, obtidos pelo método da estufa.

Palavras-chave: umidade da madeira, medidor elétrico de umidade, secagem da madeira

ABSTRACT

The present work objectified to evaluate the efficiency of the apparel electric meter of moisture content of the wood when compared to the gravimetric method, through the simple lineal correlation between both the methods and construction of drying curves with the certain humidity texts for the apparel and for the method of the stove, in samples of the goods *Eucalyptus* and *Pinus*. The experiment had two phases: in the first, it was sought to test the efficiency of the electric meter in samples of *Eucalyptus saligna* and *Pinus taeda*, with the elaboration of the drying curves; in the second phase, it was used samples of *Eucalyptus grandis* and it was sought to determine the precision of each calibration, of the 12 tested, later on being obtained a correction factor for each calibration with the purpose of approaching the values obtained by the apparel to the real values of moisture content, obtained by the gravimetric method.

Key-words: wood moisture content, electric meter of moisture content, wood drying.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. REVISÃO DE LITERATURA	2
3.1. Relação água-madeira	2
3.2. Importância da secagem da madeira	3
3.3. Medidores elétricos de umidade tipo resistência elétrica	3
3.4. Informações sobre as espécies estudadas	4
4. MATERIAL E MÉTODOS	5
4.1. Preparo das peças : primeira fase	5
4.2. Determinação dos teores de umidade : primeira fase	5
4.3. Análise dos dados	6
4.4. Preparo das peças: segunda fase	6
4.5. Determinação dos teores de umidade : segunda fase	6
4.6. Análise dos dados	6
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	7
5.1. Primeira fase	7
5.2. Segunda fase	10
6. CONCLUSÕES	13
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Medidor elétrico de umidade da madeira utilizado no experimento (Modelo DL 2000, Fabricante Digysystem)	4
Figura 2. Outros modelos de medidores elétricos de umidade da madeira	4
Figura 3. Umidade média das amostras de <i>Eucalyptus saligna</i> pelos métodos do medidor elétrico e da estufa	7
Figura 4. Umidade média das amostras de <i>Pinus taeda</i> pelos métodos do medidor elétrico e da estufa	8
Figura 5. Correlação entre os teores médios de umidade das amostras de <i>Pinus taeda</i> pelos métodos do medidor elétrico e da estufa	9
Figura 6. Correlação entre os teores médios de umidade das amostras de <i>Eucalyptus saligna</i> pelos métodos do medidor elétrico e da estufa	10
Figura 7. Umidade obtida pelo método da estufa e pelo método do medidor elétrico utilizando 10 diferentes curvas de calibração para as amostras de <i>Eucalyptus grandis</i> (os n ^{os} das curvas referem-se às curvas de calibração testadas gravadas no equipamento)	11
Figura 8. Correlação entre os teores de umidade das amostras de <i>Eucalyptus grandis</i> pelo método da estufa e pelo método do medidor elétrico com suas diferentes curvas	12

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Valores das umidades médias das amostras de *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda* pelos métodos do medidor elétrico e da estufa 8
- Tabela 2. Teores médios de umidade referentes a cada curva de calibração, com seus respectivos fatores de correção e teor médio de umidade real das amostras de *Eucalyptus grandis* (estufa) 13

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material orgânico, heterogêneo, polimérico, constituído basicamente de celulose, polioses, lignina e extrativos, com estrutura complexa formada por diferentes elementos anatômicos de acordo com o grupo de árvores a que pertence : folhosas (que compõem o grupo mais diversificado, possuindo fibras com a função de sustentação e vasos com a função de condução) ou coníferas (que são botanicamente menos evoluídas, possuindo traqueídeos que fazem tanto a função de sustentação, como a função de condução).

De um modo geral, a água se faz presente na madeira de árvores recém-abatidas a teores altos, acima de 100%, devido à absorção de água do solo, constituindo a seiva bruta, que circula pelos vasos até as folhas e a seiva elaborada, que circula das folhas até as raízes, sendo constituída por água e produtos da fotossíntese.

A umidade presente na madeira irá influenciar em suas propriedades físico-mecânicas, diminuir sua resistência, favorecer sua biodegradação pelo ataque de fungos e agir sobre a movimentação dimensional de peças processadas.

Com a expansão do setor madeireiro torna-se crescente a demanda por matéria-prima em quantidade e qualidade, aumentando a pressão sobre a floresta nativa, fazendo-se necessário recorrer aos plantios florestais, com essências de rápido crescimento e manejadas para suprir essa busca e além disso, torna-se fundamental o tratamento da madeira, incluindo a secagem da mesma para minimização ou eliminação dos problemas causados pela umidade.

Em termos de floresta plantada, em nosso país, os gêneros mais representativos são *Eucalyptus* e *Pinus*, onde o primeiro se destaca por apresentar atributos que o torna importante fonte de matéria-prima fabril, dentre os quais se destacando, a sua capacidade produtiva, a adaptabilidade a diversos ambientes e, sobretudo, a expressiva diversidade de espécies que possui, o que possibilita ao gênero atender a requisitos tecnológicos dos mais variados segmentos da produção industrial madeireira (ASSIS, 1999).

Segundo Pereira *et al.* (2000), há um grande número de espécies no gênero *Eucalyptus* com madeiras de características físico-mecânicas e estéticas bastante diferenciadas, permitindo a substituição de várias espécies latifoliadas nativas. A madeira de eucalipto possui diversos usos como: lenha, estacas, moirões, dormentes, carvão vegetal, celulose e papel, chapas de fibras e de partículas e tendência a usos mais nobres, como fabricação de casas, móveis e estruturas, especialmente nas regiões Sudeste e Sul, onde há carência de florestas nativas.

Outro representante considerável de floresta plantada é o gênero *Pinus*, sendo importante fonte de matéria-prima industrial, cuja grande concentração de plantios se encontra na região Sul do Brasil, especificamente nos estados do Paraná e Santa Catarina, onde as espécies mais plantadas são *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* (MURARA JUNIOR *et al.*, 2005).

Em praticamente todos os segmentos consumidores de madeira, o acompanhamento de sua umidade é um fator de grande importância, pois o comportamento desta matéria-prima varia de acordo com a quantidade de água presente em seu interior.

Quanto ao acompanhamento dos teores de umidade da madeira, faz-se extremamente necessário o desenvolvimento de métodos de determinação rápidos, de baixo custo e confiáveis. A relação entre resistência elétrica e teor de umidade tem sido utilizada com

sucesso para determinações práticas da quantidade de água presente em uma peça ou amostra de madeira.

Em comparação ao método gravimétrico, onde a determinação do teor de umidade é feita através da diferença de massa de amostras, antes e depois de passarem por um processo de secagem em estufa, o método dos medidores elétricos apresenta vantagens com relação à praticidade e rapidez, sendo de fundamental importância para a indústria madeireira, onde o teor de umidade das peças de madeira serrada produzidas necessita ser realizada de forma confiável e rápida.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho objetivou avaliar a eficiência do método do medidor elétrico de umidade da madeira, comparando suas determinações com as do método gravimétrico, através da correlação linear simples entre ambos os métodos e construção de curvas de secagem, em amostras dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*.

O estudo procurou também determinar fatores de correção, para os valores calculados pelo medidor elétrico, para eventuais distorções entre os resultados encontrados pelos dois métodos na determinação da umidade da madeira.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Relação água-madeira

O conhecimento das propriedades higroscópicas é, sem dúvida a chave para a utilização bem-sucedida da madeira (OLIVEIRA, 1998).

Costuma-se classificar os tipos de água existentes na madeira da seguinte forma: (a) água livre ou capilar: aquela localizada nos lúmenes celulares e nos espaços intercelulares e (b) água higroscópica ou de impregnação: aquela que se encontra adsorvida pelas paredes celulares, principalmente pela celulose e hemiceluloses que constituem a maior parte da substância madeira (KOLLMANN & CÔTE JR., 1968; CECH & PFAFF, 1977; SIMPSON, 1991; HAYGREEN & BOWYER, 1996; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

Segundo JANKOWSKY (1990), quando a madeira recém-abatida de uma árvore é exposta ao meio ambiente, primeiro evapora-se a água de capilaridade ou água livre, que se encontra localizada nos vasos, nos canais e no lúmen das células. Permanece, então, na madeira toda a água localizada no interior das paredes celulares que é chamada de água de adesão ou higroscópica.

O ponto em que toda a água livre evapora, ficando a água higroscópica é denominado ponto de saturação das fibras (PSF) que em média, corresponde a um teor de umidade de 28%, para todas as madeiras. Quando a madeira é previamente seca a 0% de umidade e é exposta ao meio ambiente, devido a sua propriedade higroscópica, ela adsorve a água que está no ar na forma de vapor. A água assim absorvida corresponde à água higroscópica ou de adesão e o teor final de umidade alcançado é chamado de umidade de equilíbrio com o ambiente (UE), o qual é função da temperatura e da umidade relativa do ar. Sabe-se que quando seca-se a madeira a um teor de umidade próximo ou igual ao da umidade de equilíbrio com suas condições de uso, temos seus problemas referentes a umidade praticamente eliminados (GALVÃO, 1975).

Abaixo do PSF, a madeira varia de dimensões proporcionalmente a água ganha ou perdida para o ambiente. Essa variação dimensional é maior na direção tangencial da madeira podendo atingir até mais de 15% do valor original, sendo esta instabilidade dimensional uma das características pouco desejáveis da madeira (GALVÃO, 1975). Além disso, ocorrem alterações significativas em suas propriedades elétricas, físicas e resistência mecânica (GALVÃO E JANKOWSKY, 1985; SIMPSON, 1991; HAYGREEN E BOWYER, 1996; SANTINI, 1996).

3.2 Importância da secagem da madeira

A secagem é uma fase de grande importância nos processos de transformação da madeira proporcionando redução da biodegradação e da variação dimensional e uma melhoria nas características de trabalhabilidade (HAYGREEN & BOWYER, 1982; TSOUMIS, 1991; WALKER, 1993; SIAU, 1995).

Segundo Galvão (1975) para permitir ajustar o teor de umidade da madeira a um valor capaz de minimizar as variações dimensionais resultantes das mudanças climáticas que ocorrem no local de sua utilização, faz-se necessária a secagem artificial em estufas.

Além disso, a secagem torna a madeira mais resistente ao ataque de fungos que tem crescimento mais favorável onde oxigênio atmosférico é pleno, em temperaturas entre 20 e 40 graus centígrados, em madeira que é moderadamente ácida e que se encontra com teor de umidade entre 20 e 100% (KLOCK *et al.*, 2005).

De acordo com Galvão & Jankowsky (1985) ao se transformar a madeira bruta em produto realiza-se a secagem a fim de reduzir a movimentação dimensional, obtendo peças de madeira com maior precisão de dimensões, proporcionando melhor desempenho em serviço, melhorando a atuação de vernizes e tintas aplicadas sobre a madeira, reduzindo o ataque de fungos apodrecedores e manchadores, proporcionando melhor qualidade das juntas de colagem, propiciando maior impregnação da madeira com líquidos preservativos e aumentando a resistência mecânica da madeira.

Realiza-se a secagem ao ar livre a fim de que a madeira atinja a umidade de equilíbrio de forma suave e lenta. O tempo de secagem varia de em função das condições climáticas de cada região. Caso seja necessário obter teores de umidade na madeira abaixo desse ponto, deve-se proceder a secagem em estufas (MENDES *et al.*, 1996).

3.3 Medidores elétricos de umidade

De acordo com Calonego *et al.* (2006), o método mais preciso de determinação dos teores de umidade da madeira é o método gravimétrico, que apresenta como desvantagem o fato de ser destrutivo, de exigir muito tempo para obter-se a resposta e ser inviável para espécies com componentes voláteis.

Outro método de determinação da umidade é o sistema que utiliza os medidores elétricos, que são menos precisos, porém, proporcionam resposta imediata (FORRER, 1984; PONCE & WATAI, 1985; SKAAR, 1988; SIMPSON, 1996; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

A existência de uma relação entre a umidade da madeira e a resistência à passagem da corrente elétrica, descoberta por Stamm a aproximadamente 70 anos, permitiu o desenvolvimento dos medidores de umidade tipo resistência elétrica, muito utilizados atualmente para estimar o teor de umidade da madeira (SANTINI & MATOS, 1995).

Os medidores elétricos mais populares são os de resistência elétrica que se baseiam na resistência oferecida pela madeira à passagem da corrente elétrica que varia inversamente com a umidade (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985).

Na Figura 1 visualiza-se o modelo de equipamento utilizado neste projeto, que segue o princípio de Stamm.

Na Figura 2 foram inseridos outros exemplos de equipamentos similares de medidores elétricos de umidade da madeira.



Figura 1. Medidor elétrico de umidade da madeira utilizado no experimento (Modelo DL 2000, Fabricante Digysystem).



Figura 2. Outros modelos de medidores elétricos de umidade da madeira.

3.4. Informações sobre as espécies estudadas

O *Pinus taeda* é a espécie mais plantada no Brasil com relação ao gênero *Pinus*, abrangendo aproximadamente um milhão de hectares no planalto da Região Sul do Brasil, sendo consumida principalmente para produção de celulose, papel, madeira serrada, chapas e madeira reconstituída (SHIMIZU, 2005).

Segundo Iwakiri & Prata (2008) a madeira de *Eucalyptus saligna* é muito similar a de *Eucalyptus grandis*, sendo medianamente leve e fácil de ser trabalhada em operações de usinagem. A sua madeira é destinada principalmente a construção civil e fabricação de móveis. As árvores mais jovens são utilizadas na produção de celulose, chapas duras, aglomerados e carvão.

Quanto a madeira de *Eucalyptus grandis*, esta possui tom branco rosado e apresenta bom comportamento nas principais operações de usinagem, indicando um alto potencial para o setor de madeira serrada e moveleiro, sendo considerado entre os melhores eucaliptos para movelaria, proporcionando boa colagem e acabamento superficial. No Brasil a madeira de *Eucalyptus grandis* é usada para a produção de formas de concreto, carpintaria, estruturas de telhados, caixaria, embalagens e pallets. Em menor escala são produzidos móveis rústicos, estrados para camas, forros, cabos, vigas laminadas, escadas, molduras de móveis, brinquedos, entre outros (IWAKIRI & PRATA, 2008)

4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi dividido em duas fases: na primeira fase o objetivo foi testar a eficiência do aparelho medidor elétrico, utilizando duas curvas de calibração baseadas na densidade (curva para madeira de média densidade para as amostras de *Eucalyptus saligna* e curva para madeira de baixa densidade para as amostras de *Pinus taeda*), sendo objetivo da segunda fase testar 10 diferentes curvas de calibração do aparelho, para amostras de *Eucalyptus grandis* e obtenção de fatores de correção para cada curva referente à espécie citada.

4.1 Preparo das peças : primeira fase

As peças de *Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna* foram provenientes de Pirai – RJ, sendo sobra de trabalhos anteriores desenvolvidos no Laboratório de Usinagem e Beneficiamento da Madeira, do Departamento de Produtos Florestais, do Instituto de Florestas, da UFRuralRJ. As peças foram serradas com as medidas de 10 cm x 50 cm x 2cm.

Foram confeccionadas 10 amostras de cada espécie, totalizando 20 peças, sendo então levadas para re-umidificação por imersão em água por um período de 20 dias e após isso levadas à secagem ao ar, sobre tabiques, para o acompanhamento da perda de umidade.

4.2 Determinação dos teores de umidade : primeira fase

Após o preparo das amostras foram realizadas as medições dos teores de umidade a partir do uso do medidor elétrico, utilizando a curva de calibração do aparelho referente à madeira de média densidade para *Eucalyptus saligna* e a curva de calibração referente à madeira de baixa densidade para *Pinus taeda*, com acompanhamento do peso em balança analítica, até estabilização das leituras, sendo as amostras posteriormente levadas à estufa, para obtenção do peso seco final e determinação dos teores de umidade pelo método gravimétrico, para comparação entre os dois métodos.

A medição da umidade das peças foi feita com a fixação de quatro pinos metálicos, inseridos nas tábuas em direção paralela às fibras, a 1/3 de profundidade em relação a

espessura da peça e variando o posicionamento de forma aleatória em cada amostra nas 11 verificações.

Após isto, as amostras foram levadas à estufa, a 70°C por 24 horas (até peso constante), para obtenção do peso seco (em balança analítica). Esta parte final da metodologia permitiu a determinação dos valores de umidade pelo método da estufa com o uso da fórmula $U\%=(PU-PS)/PS$; ou seja, através dos valores das pesagens foi possível determinar a umidade real das peças em todos os momentos de verificação através do medidor elétrico.

4.3 Análise dos dados

Foram construídas curvas de secagem com os dados obtidos pelos métodos da estufa e pelo método do medidor elétrico (média de todas as amostras para cada dia de medição) para as peças de *Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna*, e utilizada a correlação linear para comparação entre os dois métodos.

4.4 Preparo das peças : segunda fase

As peças de *Eucalyptus grandis* utilizadas na segunda fase do trabalho também foram provenientes de Pirai – RJ, sendo sobra de trabalhos anteriores desenvolvidos no Laboratório de Usinagem e Beneficiamento da Madeira, do Departamento de Produtos Florestais, do Instituto de Florestas, da UFRuralRJ. foram serradas verdes com as medidas de 10cm x 40cm x 5cm. Foram confeccionadas 12 amostras, que foram levadas à secagem ao ar, sobre tabiques, até atingirem a umidade de equilíbrio com o ambiente, determinada em balança analítica (pelo peso constante).

4.5 Determinação dos teores de umidade : segunda fase

Após atingida a umidade de equilíbrio das amostras, as peças foram pesadas e foram realizadas as medições dos teores de umidade através de 10 diferentes curvas de calibração pré-estabelecidas no aparelho, sendo as amostras posteriormente levadas à estufa, para obtenção do peso seco final e determinação dos teores de umidade pelo método da estufa, para comparação entre os dois métodos.

A medição da umidade das peças foi feita com a fixação de quatro pinos metálicos, inseridos nas tábuas em direção paralela às fibras, a 1/3 de profundidade em relação a espessura da peça e variando o posicionamento de forma aleatória em cada amostra no dia da medição, mesma metodologia de verificação adotada na primeira fase do estudo.

Após isto, as amostras foram levadas à estufa, a 70°C por 24 horas (até peso constante), para obtenção do peso seco (em balança analítica). Esta parte final da metodologia permitiu a determinação dos valores de umidade pelo método da estufa com o uso da fórmula $U\%=(PU-PS)/PS$, semelhantemente à primeira fase.

4.6 Análise dos dados

Foram construídas curvas de secagem com os dados obtidos pelos métodos da estufa e pelo método do medidor elétrico (valor obtido em cada calibração por peça) para as amostras de *Eucalyptus grandis*, e utilizada a correlação linear para comparação entre os dois métodos, além da determinação de um fator de correção para cada calibração (valor

médio de umidade obtido pelo método da estufa dividido pelo valor médio obtido em cada calibração do aparelho).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Primeira fase

Na Figura 3 observa-se a comparação entre as curvas de queda da umidade obtidas com o método do medidor elétrico e o método da estufa, referente às médias das umidades das amostras de *Eucalyptus saligna*.

Podemos observar que o método do medidor elétrico apresentou leituras superiores às leituras do método da estufa, sendo essa diferença praticamente constante a partir do terceiro dia de medição.

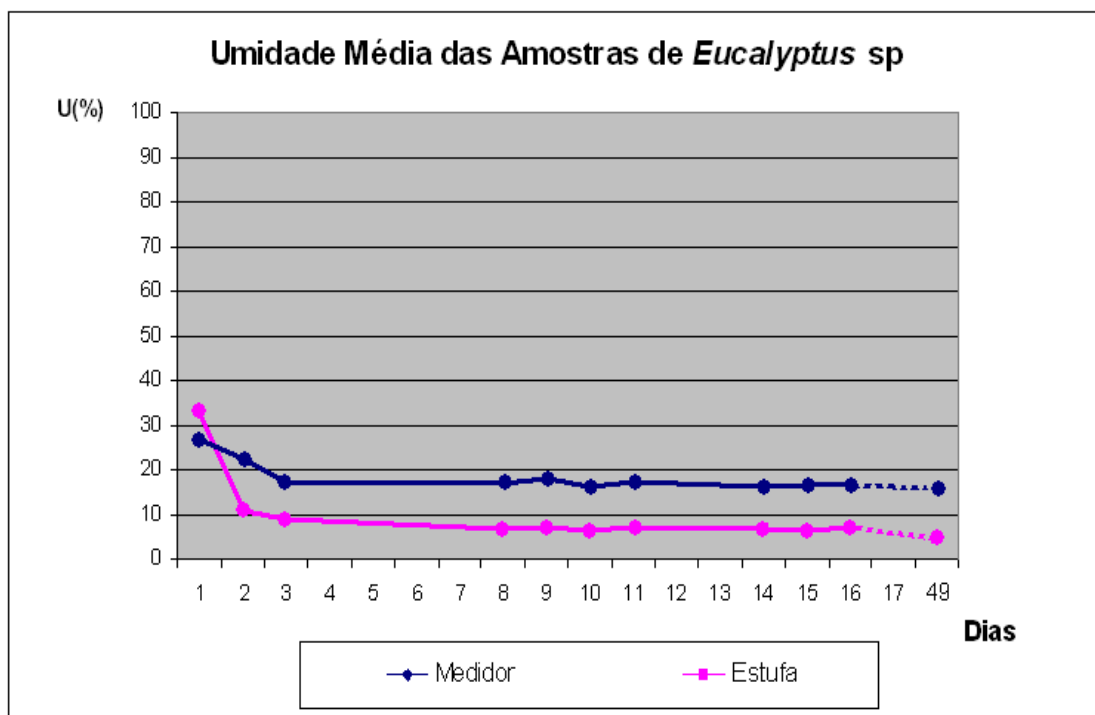


Figura 3. Umidade média das amostras de *Eucalyptus saligna* pelos métodos do medidor elétrico e da estufa.

Na Figura 4 temos a comparação entre as curvas características da umidade obtida com o método do medidor elétrico e o método da estufa referente às médias das umidades das amostras de *Pinus taeda*.

Podemos observar, a exemplo do gráfico anterior, que o método do medidor elétrico apresenta leituras superiores às leituras do método da estufa, sendo essa diferença também constante a partir de alguns dias de perda de água.

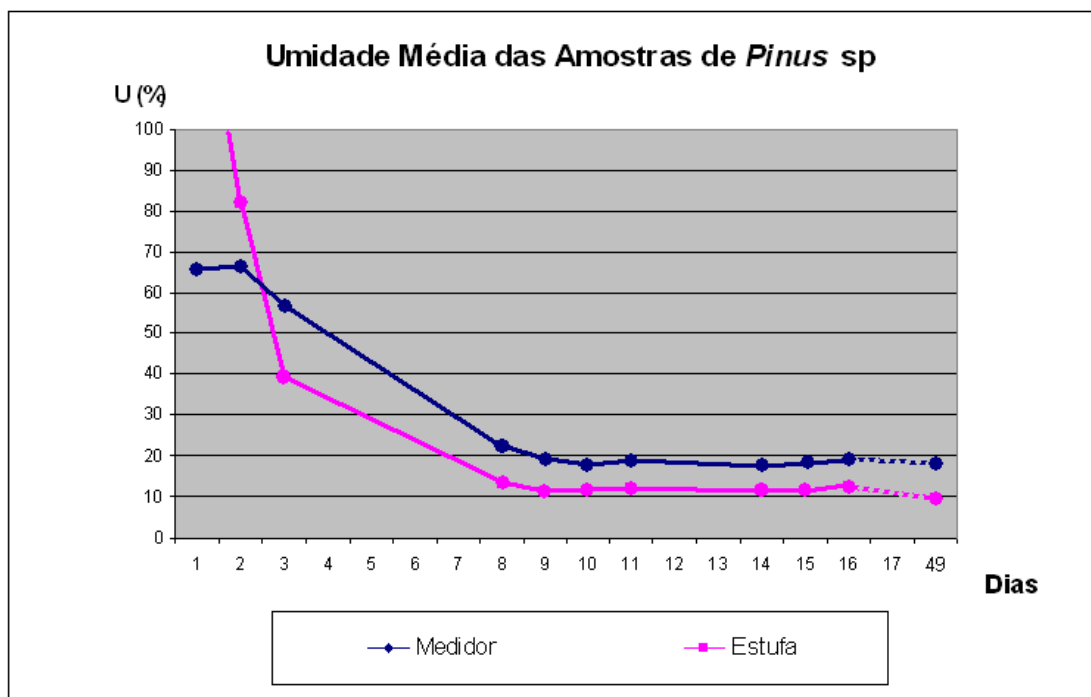


Figura 4. Umidade média das amostras de *Pinus taeda* pelos métodos do medidor elétrico e da estufa.

A Tabela 1 apresenta, com mais detalhes, os valores das umidades médias das amostras de *Eucalyptus saligna* e de *Pinus taeda*, pelo método da estufa e pelo método do medidor elétrico, a cada dia de medição.

Segundo observado, as amostras de *Pinus taeda* apresentaram maiores teores de umidade por ambos os métodos (estufa e medidor elétrico), em relação aos teores obtidos nas amostras de *Eucalyptus saligna*, o que confirma a teoria de maior e mais rápida perda de água pela madeira das espécies de *Eucalyptus* em relação às espécies de *Pinus*; fato que pode ser explicado anatomicamente pela presença de vasos e estruturas para perda de água capilar nas espécies do grupo das folhosas.

Tabela 1. Valores das umidades médias das amostras de *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda* pelos métodos do medidor elétrico e da estufa. (continua)

Verificação n°	<i>Pinus taeda</i> (U% Média)		<i>Eucalyptus saligna</i> (U% Média)	
	Medidor	Estufa	Medidor	Estufa
1	66,0	141,7	27,0	33,3
2	66,5	81,8	22,1	11,1
3	57,1	39,4	17,3	9,1
4	22,6	13,2	17,0	7,1
5	19,4	11,3	18,0	6,8
6	17,9	11,5	16,2	6,5
7	19,0	12,0	17,0	6,8
8	17,6	11,5	16,4	6,8
9	18,4	11,7	16,6	6,6

Tabela 1. Continuação

10	19,3	12,6	16,9	6,9
11	18,0	9,8	15,8	4,7

Na Figura 5 pode-se observar o gráfico da correlação entre os valores dos teores médios de umidade, obtidos pelos dois métodos estudados para as amostras de *Pinus taeda*.

Através do gráfico e coeficiente de correlação calculado ($R^2 = 0,88130$), foi possível constatar que ocorreu uma correlação positiva e significativa entre os dados obtidos pelo método da estufa e pelo método do medidor elétrico, o que permite verificar que ao utilizar o medidor elétrico de umidade podemos encontrar a umidade real da madeira.

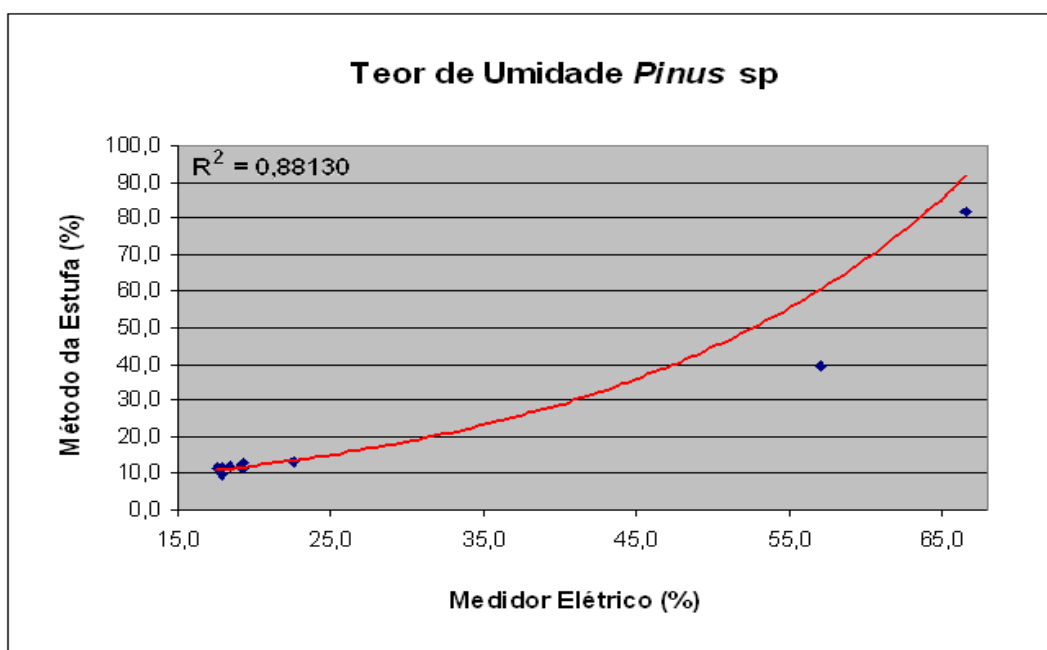


Figura 5. Correlação entre os teores médios de umidade das amostras de *Pinus taeda* pelos métodos do medidor elétrico e da estufa

A Figura 6 expressa a correlação entre os valores dos teores médios de umidade obtidos pelo método da estufa e pelo método do medidor elétrico de umidade para as amostras de *Eucalyptus saligna*.

Pelo gráfico e pelo coeficiente de correlação encontrado ($R^2 = 0,93369$), é possível observar que também ocorreu uma correlação positiva e significativa entre os dados obtidos pelo método da estufa e pelo método do medidor elétrico, o que novamente nos permite constatar que ao utilizar o medidor elétrico de umidade pode-se encontrar a umidade real da madeira.

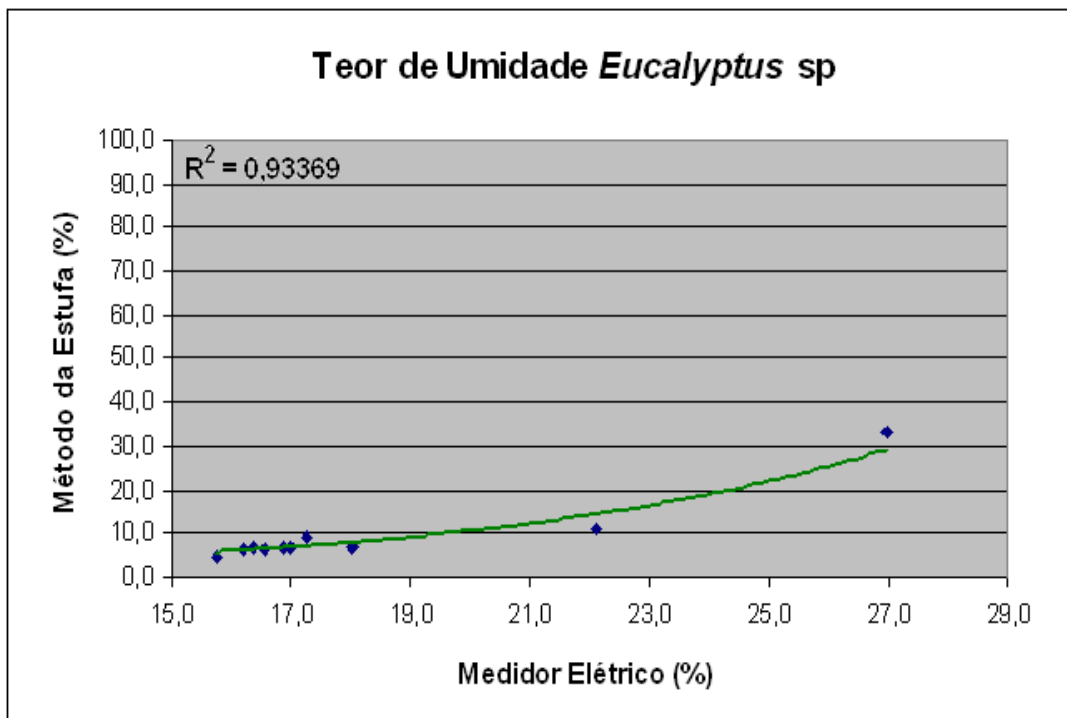


Figura 6. Correlação entre os teores médios de umidade das amostras de *Eucalyptus saligna* pelos métodos do medidor elétrico e da estufa

5.2 Segunda fase

Na Figura 7 observa-se o teor de umidade obtido em cada amostra através das 10 diferentes curvas de calibração utilizadas no método do medidor elétrico e pelo método da estufa.

Como visto na primeira etapa, os valores de umidade obtidos com o método do medidor elétrico se mostraram superiores aos valores obtidos com o método da estufa.

Podemos observar que as curvas 20 e 1 foram as que mais se aproximaram dos valores de umidade real, obtidos com o método da estufa.

As demais curvas mostraram leituras relativamente distantes dos valores reais de umidade, sendo a curva 31 a que mais se distanciou da curva obtida com o método da estufa.

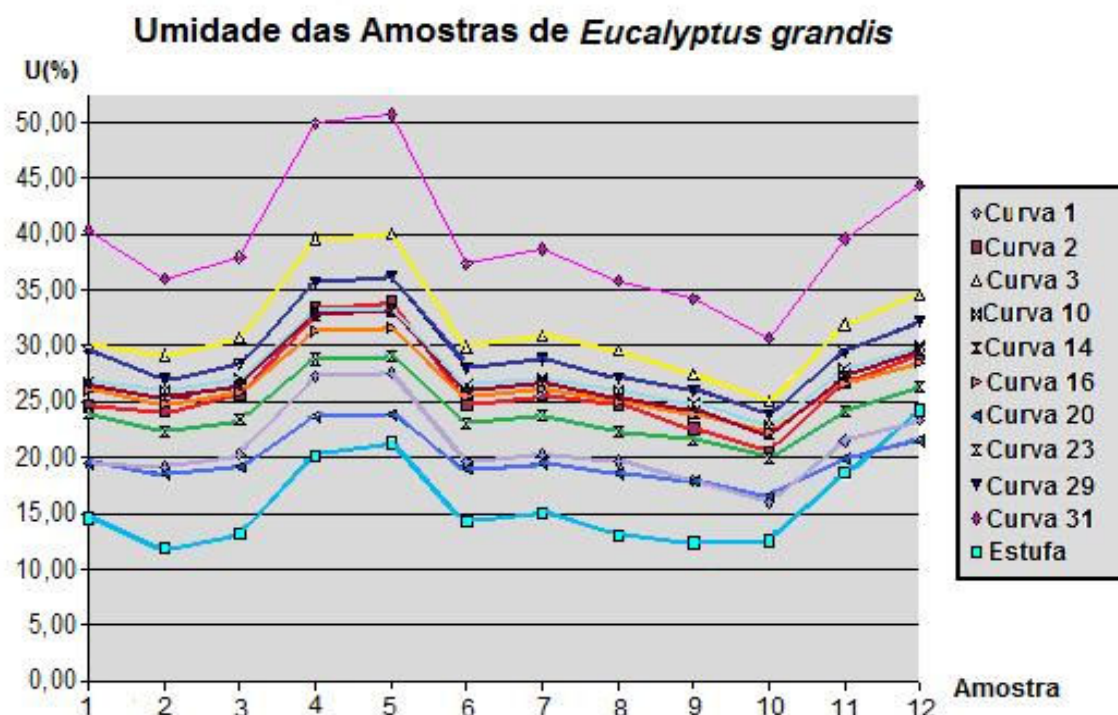


Figura 7. Umidade obtida pelo método da estufa e pelo método do medidor elétrico utilizando 10 diferentes curvas de calibração para as amostras de *Eucalyptus grandis* (os n^{os} das curvas referem-se as curvas de calibração testadas gravadas no equipamento).

A Figura 8 expressa a correlação entre os valores dos teores de umidade obtidos pelo método da estufa e pelo método do medidor elétrico de umidade, utilizando as 10 diferentes calibrações para as amostras de *Eucalyptus grandis*.

Pela análise do gráfico e pelos coeficientes de correlação encontrados foi possível verificar que ocorreu correlação positiva e significativa entre os dados obtidos pelo método da estufa e pelo método do medidor elétrico, o que reforça a constatação observada na primeira etapa do experimento, onde se verificou que ao utilizar o medidor elétrico de umidade podemos encontrar a umidade real da madeira.

As curvas 20 ($R^2 = 0,8376$), 23 ($R^2 = 0,8426$) e 29 ($R^2 = 0,8362$), foram as que apresentaram maiores coeficientes de correlação com o método da estufa.

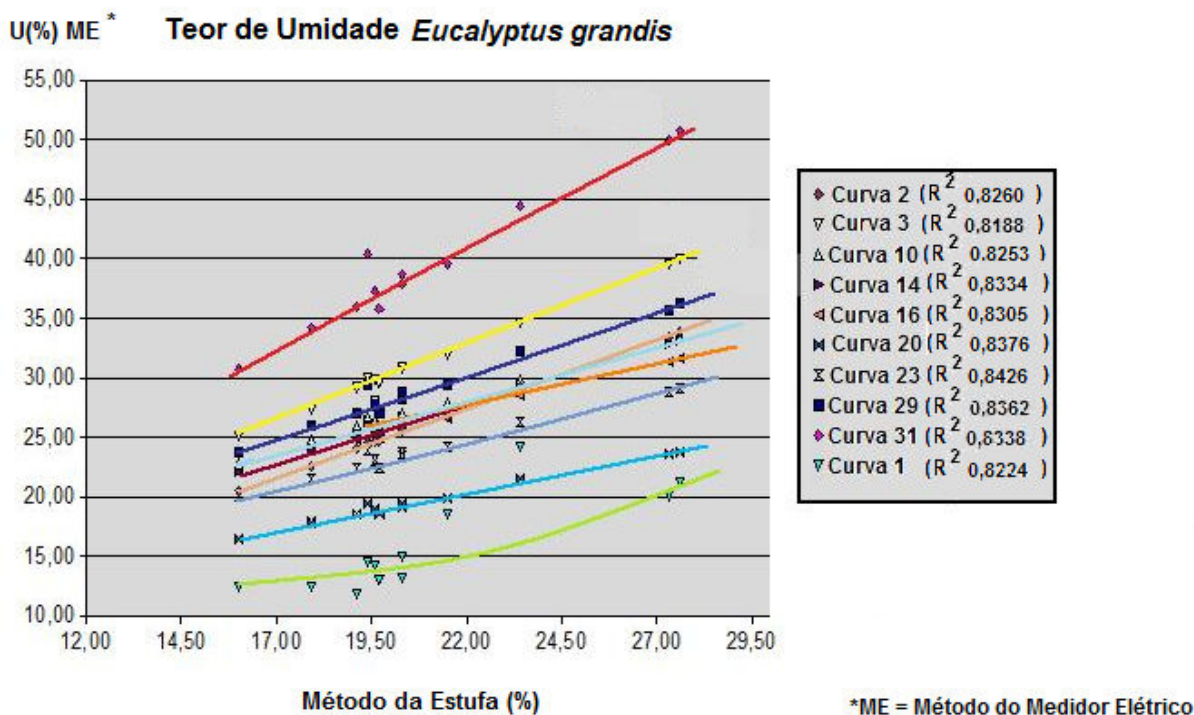


Figura 8. Correlação entre os teores de umidade das amostras de *Eucalyptus grandis* pelo método da estufa e pelo método do medidor elétrico com suas diferentes curvas.

Na Tabela 2 temos os valores médios de umidade encontrados pelo método da estufa e pelo método do medidor elétrico em cada curva de calibração testada.

Os valores médios de umidade, segundo as 10 diferentes curvas de calibração variaram entre 19,79% (referente a curva 20 do aparelho) e 39,63% (referente a curva 31 do aparelho), sendo o primeiro valor o mais próximo do valor médio de umidade real (15,92%) e por conseguinte, o segundo valor citado, o mais discrepante em relação a média de umidade real (método da estufa).

Com a obtenção dos valores médios de umidade das curvas de calibração e do valor médio real de umidade, para as amostras de *Eucalyptus grandis*, pode-se calcular um fator de correção referente a cada curva de calibração do aparelho, ao dividir o valor médio real de umidade pelo valor médio de cada curva.

Estes fatores de correção deverão ser considerados nas futuras medições e trabalhos onde o equipamento for utilizado para a mesma espécie.

Tabela 2. Teores médios de umidade referentes a cada curva de calibração, com seus respectivos fatores de correção e teor médio de umidade real das amostras de *Eucalyptus grandis* (estufa).

Curva de Calibração Utilizada	U(%) Média (pelo Mét. do Méd. Elétrico)	Fator de Correção Calculado
1	21,01	0,76
2	26,30	0,61
3	31,58	0,50
10	27,61	0,58
14	27,07	0,59
16	26,43	0,60
20	19,79	0,80
23	24,08	0,66
29	29,34	0,54
31	39,63	0,40
U% pelo Mét. Estufa		15,92

6. CONCLUSÕES

Com a realização do presente trabalho concluiu-se que:

- Houve correlação positiva e significativa entre o método gravimétrico e o método do medidor elétrico, tanto para *Pinus taeda*, quanto para *Eucalyptus saligna*, demonstrando a eficiência do aparelho quanto a aferição dos teores de umidade da madeira;
- A correlação entre o método da estufa e o método do medidor elétrico, utilizando 10 diferentes curvas de calibração para *Eucalyptus grandis*, também mostrou-se positiva e significativa, determinando a confiabilidade da determinação da umidade pelo método do medidor elétrico;
- Para *Eucalyptus grandis*, a utilização de um fator de correção que aproxime os resultados com a umidade real, considerada a encontrada pelo método da estufa, melhorará a confiabilidade nos resultados;
- A melhor curva de calibração para *Eucalyptus grandis* foi a curva 20, que apresentou teores médios de umidade mais próximos dos teores médios reais, por conseguinte apresentando fator de correção mais próximo de 1, em relação as demais calibrações.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

CALONEGO, F. W.; BATISTA, W. R.; SEVERO; E. T. D.; SANTOS, J. E. G. dos; RIBAS, C. Avaliação do teor de umidade da madeira de *Eucalyptus grandis* por medidores elétricos resistivos. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 18, n. único, p. 71-78, 2006.

CECH, M. Y.; PFAFF, F. **Kiln operator's manual Eastern Canada**. Ontario: Eastern Forest Products Laboratory, 1977. 189 p.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook** - wood as an engineering material. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, 1999. 463 p.

FORRER, J. B. An electronic system for monitoring gradients of drying wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 34, n. 7/8, p. 34-44, 1984.

GALVÃO, A.P.M. Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. IPEF, n.11, p.53-65, 1975.

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

HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L. **Forest Products and Wood Science**. Iowa State University Press, Ames, USA, 1982, 495p.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. **Forest products and wood science: an introduction**. Iowa: Iowa State University Press: AMES, 1996. 484 p.

IWAKIRI, S.; PRATA, J.G. Produção de painéis compensados multilaminados de Eucalyptus – Guia Florestal. Disponível em: <<http://www.guiaflorestal.com.br/?pg=lerartigo&id=81>>. Acesso em: 12 dez. 2008.

JANKOWSKY, I.P. Fundamentos de secagem da madeira – São Paulo: Documentos Florestais, p. 1-13, 1990.

KLOCK, U.; MUNIZ, G. I. B. de; HERNADEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. de. **Química da madeira**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005, 85p.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTE Jr., W. A. **Principles of wood science and technology: I. solid wood**. New York: Springer-Verlag, 1968. 592 p.

MURARA JUNIOR, M. I.; ROCHA, M. P. da; TIMOFEICZYK JUNIOR, R. Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. **Floresta**, v. 35, n. 3, p.473-483, 2005.

OLIVEIRA, J.T.S. Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil. 1998. 429 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA,A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. Características da Madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

PONCE, R. H.; WATAI, L. T. **Secagem da madeira**. Brasília, D.F.: STI/IPT, 1985. 70 p.

SANTINI, E. J. **Alternativas para o monitoramento e controle do processo de secagem da madeira serrada em estufa**. 1996. 198 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal/Setor de Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SANTINI, E.J.; MATOS, J.L.M. Relação entre resistência elétrica, temperatura e teor de umidade para madeira de *Pinus elliottii* Engelm submetida a diferentes temperaturas de secagem: resultados preliminares. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.5, n.1, p.139-154, 1995.

SHIMIZU, J.Y.; Cultivo do Pinus - Embrapa Florestas. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03_2_pinus_taeda.htm>. Acesso em: 12 dez. 2008.

SIAU, J. F. **Wood: Influence of Moisture on Physical Properties**. Dep. of Wood Science and Forest Products, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1995, 227p.

SIMPSON, W. T. **Dry kiln operator's manual**. Madison: United States Department of Agriculture - USDA, 1991. 274 p.

SKAAR, C. **Wood-water relations**. New York: Springer-Verlag, 1988. 283 p.

TSOUMIS, G. **Science and Technology of Wood – Structure, Properties, Utilization**, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991, 494p.

WALKER, J. C. F. Characteristics of stemwood and their manipulation. In: WALKER, J. C. F. et al. **Primary wood processing: principles and practice**. London: Chapman & Hall, 1993, 475 p.

* * *