

DANILO BARROS DONATO

**MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E DE DETERMINAÇÃO DO TEOR DE  
UMIDADE DA MADEIRA EM TORA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

D677m  
2013

Donato, Danilo Barros, 1984-

Métodos de amostragem e de determinação do teor de  
umidade da madeira em tora / Danilo Barros Donato. – Viçosa,  
MG, 2013.

ix, 58 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Umidade - Modelos matemáticos. 2. Madeira - Secagem.  
3. Madeira - Efeito da umidade. I. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de  
Pós-Graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDD 22. ed. 634.981221

DANILO BARROS DONATO

**MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E DE DETERMINAÇÃO DO TEOR DE  
UMIDADE DA MADEIRA EM TORA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 17 de julho de 2013.

---

Benedito Rocha Vital  
(Coorientador)

---

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro  
(Coorientadora)

---

Rosimeire Cavalcante dos Santos

---

Renato Vinícius Oliveira Castro

---

Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho  
(Orientadora)

*A todos que, de alguma forma,  
contribuíram para mais esta conquista em  
minha vida. Obrigado!*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais esta conquista.

Aos meus pais, Maria Neuza e Raimundo, pelo apoio incondicional, e às minhas irmãs, Diana e Camila.

À minha namorada, Janaina, pelo companheirismo e carinho, e também por ter sido um dos principais motivos para que eu me mudasse para Viçosa.

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) e ao LPM, por terem contribuído para minha formação acadêmica.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnologia – CNPq, pela concessão da bolsa de estudos. À FAPEMIG/SECTES e ao Grupo G6, pelo financiamento do projeto.

À professora Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho, pela orientação e amizade durante toda a pesquisa.

Aos professores Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, Benedito Rocha Vital, Renato Vinícius Oliveira Castro, pelas contribuições durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos bolsistas de Iniciação Científica do LAPEM, Mateus, Miguel e Welliton, pela valiosa ajuda, e aos demais estudantes de graduação e pós-graduação em Engenharia Florestal, que de alguma maneira me auxiliaram.

Aos funcionários do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM – DEF/UFV).

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

DANILO BARROS DONATO, filho de Maria Neuza Barros Donato e de Raimundo Pereira Donato, nasceu em 19 de dezembro de 1984, na cidade de Guanambi, Bahia.

No segundo semestre de 2004, ingressou no curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Minas Gerais, concluindo-o em dezembro de 2009.

Em agosto de 2011, iniciou o curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo os requisitos necessários à obtenção do título de *Magister Scientiae* em julho de 2013.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>3</b>
<b>MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E NÚMERO DE TORAS DE MADEIRA PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE</b>	
Resumo .....	3
Abstract.....	4
1. Introdução.....	5
2. Objetivos.....	6
2.1 Objetivo geral .....	6
2.2 Objetivos específicos .....	6
3. Revisão de Literatura.....	6
3.1 Amostragem.....	6
3.2. Tipos de amostragem probabilística .....	7
3.2.1. Amostragem casual simples.....	7
3.2.2. Amostragem casual estratificada... ..	7
3.3. Erro amostral.....	8
3.4. Determinação do tamanho da amostra.....	9
3.5. Parâmetros da madeira em tora que influenciam a amostragem .....	10
4. Material e Métodos .....	11
5. Resultados e Discussão.....	14
6. Conclusões.....	18
7. Referências Bibliográficas.....	18
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>21</b>
<b>MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E DE DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA EM TORA</b>	
Resumo .....	21
Abstract.....	23
1. Introdução.....	25
2. Objetivos.....	26
2.1 Objetivo geral .....	26
2.2 Objetivos específicos .....	26
3. Revisão de Literatura.....	27
3.1. Umidade da madeira .....	27
3.2. Tipos e localização da água na madeira.....	28
3.3. Movimentação da água na madeira .....	29
3.4. Métodos de determinação do teor de umidade na madeira.....	30
3.4.1. Método de secagem em estufa ou gravimétrico.....	30
3.4.2. Médidores elétricos.....	31

3.4.3. Balança analisadora de umidade .....	32
3.4.4. Outros.....	33
3.4.4.1. Métodos químicos de secagem em estufa ou gravimétrico .....	33
3.4.4.2. Método do micro-ondas .....	34
4. Material e Métodos .....	35
4.1 Coleta e preparo do material .....	35
4.2. Estudo do teor de umidade da madeira em tora.....	36
4.2.1. Perfil de umidade no sentido longitudinal da madeira.....	36
4.2.2. Amostragem e determinação do teor de umidade da madeira em tora.....	37
4.3. Correções para os métodos alternativos.....	39
4.3.1. Fator de correção .....	39
4.3.2. Modelo de regressão .....	39
4.4. Análise estatística .....	39
5. Resultados e Discussão.....	40
5.1. Estudo do teor de umidade da madeira em tora.....	40
5.1.1. Perfil de umidade no sentido longitudinal da madeira.....	40
5.1.2. Amostragem e determinação do teor de umidade da madeira em tora.....	44
5.2. Correções para os métodos alternativos.....	48
5.2.1. Fator de correção .....	48
5.2.2. Modelo de regressão .....	49
6. Conclusões.....	52
7. Referências Bibliográficas.....	53
<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>58</b>

## RESUMO

DONATO, Danilo Barros, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2013. **Métodos de amostragem e de determinação do teor de umidade da madeira em tora.** Orientadora: Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho. Coorientadores: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro e Benedito Rocha Vital.

Apesar da crescente demanda de utilização da madeira em tora por várias empresas do setor florestal, ainda são poucos os estudos das técnicas que visam à determinação do teor de umidade de forma rápida e precisa em campo, além de estudos que permitem estabelecer o número ótimo de toras a serem amostradas como forma de representar o teor de umidade real da madeira empilhada no campo, ou até mesmo nos pátios das fábricas. O presente trabalho teve como objetivos comparar duas metodologias de amostragem (amostragem casual simples e a amostragem casual estratificada), com o propósito de determinar o número ótimo de amostras de madeira em tora para obter o teor de umidade da população, e avaliar diferentes alternativas de coleta de amostras e métodos para determinar o teor de umidade da madeira em tora, comparando-os com o método estabelecido pela norma da ABNT-NBR14929. Foram amostradas aleatoriamente, de um lote de 250 st de madeira, 144 toras distribuídas em quatro classes de diâmetro. Em seguida, determinou-se o teor de umidade dessas amostras, e a partir desses valores foram calculadas as estimativas populacionais pela amostragem casual simples (ACS) e pela amostragem casual estratificada (ACE), estabelecendo assim o número ótimo de toras (n) a serem amostradas. O número de toras de madeira amostradas pela ACS para cada erro admissível 5, 10, 15 e 20% foi, respectivamente, 214, 55, 25 e 14; para a ACE (proporcional) foi 141, 35, 16 e 9; e para ACE (ótima) foi 136, 34, 15 e 8. As alternativas de coleta de amostras e a determinação do teor de umidade da madeira em tora foram obtidas utilizando uma balança analisadora do teor de umidade, quando na coleta das amostras foram utilizadas uma furadeira elétrica portátil e um trado manual, coletando as amostras em forma de serragem. Também foram utilizados os medidores elétricos do tipo capacitivo e resistivo. Devido a eventuais distorções entre os resultados encontrados por esses métodos, em comparação com o método ABNT-NBR14929, foram estabelecidos um fator de correção e um modelo de regressão para fazer os ajustes. Concluiu-se que o método de amostragem mais indicado para este estudo, considerando o mesmo erro admissível, foi a ACE, e que desde que se utilize um fator de correção ou um modelo de

regressão, os métodos de determinação do teor de umidade da madeira aqui testados são adequados para avaliar a umidade da madeira em tora de maneira rápida, eficiente e com menor custo, quando comparados ao método da ABNT-NBR14929.

## ABSTRACT

DONATO, Danilo Barros, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2013. **Sampling and determination of moisture content methods in roundwood.** Adviser: Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho. Co-advisers: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro and Benedito Rocha Vital.

Even with the rising demand of roundwood utilization by many forestry companies, there are only a few studies of techniques that search for the moisture content in a fast and precise way on the field, in addition to studies that could establish the optimum number of roundwood to be used as samples as a way to represent the real moisture content of piled wood in the field or even in the factory courtyard. So, the present paper pursued comparing two content sampling methods (Simple Casual Sampling and Stratified Casual Sampling) to determine the optimum number of roundwood samples to obtain the moisture content of the population, evaluate the sample collecting and moisture content determination of roundwood and comparing them to the ABNT-NBR14929 norm. The samples were randomly collected from a 250 stwoodlot, 144 roundwood in four classes of diameter. Later, the moisture content of those samples were measured and from this values the population estimates by simple casual sampling (ACS) and by stratified casual sampling (ACE) were calculated, determining the optimum number of roundwood ( $n$ ) to be sampled. For results of the number of roundwood to be sampled by ASC for each acceptable error 5; 10; 15; 20% were respectively 214; 55; 25 and 14 and for ACE (proportional) the number of roundwood to be sampled was 141; 35; 16; 9 and for ACE (Neyman) this number was 136; 34; 15 and 8 roundwood. The alternatives of sample collecting and moisture content determination in roundwood were measured using a moisture content analyzing scale; the samples were collected with a portable drill and a manual auger, collecting the samples in sawdust form. Capacitive and resistive electrical meters were also used. Because of eventual distortions among the results found by this methods in comparison with the ABNT-NBR14929 method, a correction factor and a regression model were established to make the adjusts. It was concluded that the more suggested sampling method for this study, considering the acceptable error, was the ACE. And if a correction factor or a regression model is used, the moisture content determination methods of the wood are appropriated for determining the moisture content in

roundwood in a fast, efficient and less costly way way than the ABNT-NBR14929 method.

## INTRODUÇÃO GERAL

O teor de umidade da madeira é uma característica física muito importante, e o seu acompanhamento durante o processo de secagem é necessário para sua trabalhabilidade e utilização para diferentes consumidores finais, a exemplo dos produtores de carvão vegetal. Segundo Valente (1986), a fabricação de carvão com madeira úmida origina um carvão friável e quebradiço, o que provoca a elevação do teor de finos durante o manuseio e transporte, portanto é preciso carbonizá-la com umidade, base seca, entre 20 e 30%. Além disso, para determinação do rendimento gravimétrico em carvão vegetal é preciso conhecer o teor de umidade inicial das toras, para obtenção da massa seca de madeira enforada.

A quantidade de água presente na biomassa pode ser avaliada pela diferença entre as massas de uma amostra antes e após ser submetida à secagem até valores constantes, definindo assim o teor de umidade da madeira. Os valores de teor de umidade da madeira podem ser apresentados em base seca ou em base úmida, conforme a condição de referência adotada (NOGUEIRA *et al.*, 2000).

O método mais utilizado para determinar o teor de umidade da madeira é o preconizado pela norma da ABNT NBR 14929 (ABNT, 2003), também chamado de método gravimétrico, porém ele tem como desvantagens o fato de ser destrutivo e exigir muito tempo para se obter a resposta. Deve ser salientado que existem outros métodos para determinar o teor de umidade da madeira, por exemplo, os medidores elétricos, que proporcionam resposta imediata, porém esses não foram desenvolvidos para fazer a leitura da umidade de madeira em tora, nem com teores de umidade acima de 30% (base seca).

Apesar da crescente demanda de utilização da madeira em tora pelas empresas, ainda são poucos os estudos das técnicas que visam à determinação do teor de umidade de forma rápida e precisa, além de estudos que permitem estabelecer o número ótimo de toras a serem amostradas como forma de representar a umidade real da madeira empilhada no campo ou nos pátios das fábricas.

Assim, alinhando-se ao conceito de otimização de processo e confiabilidade dos resultados, faz-se necessário buscar alternativas de amostragem de madeira, definir o número de amostras adequadas em função do erro a ser aceitável, além de utilizar métodos mais rápidos e confiáveis para determinar o teor de umidade da madeira em tora, uma vez que essa matéria-prima é estocada na forma de pilhas e também se

apresenta heterogênea quanto ao diâmetro e comprimento, bem como o grande volume de toras existentes nos pátios ou nas áreas de campo.

Esta pesquisa teve como objetivos estabelecer o número ótimo de toras a serem amostradas em uma pilha de madeira para determinar o seu teor de umidade e também avaliar os procedimentos de obtenção de amostras e métodos para determinar o teor de umidade da madeira em tora, de forma rápida e precisa.

## CAPÍTULO 1

### MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E NÚMERO DE TORAS DE MADEIRA PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE

**Resumo** – A determinação da umidade da madeira é fundamental para qualquer processo. Em processos industriais, nos quais o volume de toras é muito grande, é preciso fazer uma amostragem que seja capaz de representar toda umidade da madeira utilizada no processo. Assim, este trabalho teve como objetivo comparar duas metodologias de amostragem (amostragem casual simples e a amostragem casual estratificada), com o propósito de determinar o número ótimo de amostras de madeira em tora para obter o teor de umidade da população. Foram consideradas diferentes porcentagens de erro admissível (5, 10, 15 e 20%) para cada metodologia de amostragem testada. Na condução do trabalho foram amostradas aleatoriamente, de um lote de 250 st de madeira, 144 toras de 3 metros de comprimento e distribuídas em quatro classes de diâmetro. Em seguida, determinou-se o teor de umidade dessas amostras, e a partir desses valores foram calculadas as estimativas populacionais (média, desvio-padrão, variância, coeficiente de variação e erro-padrão) pela amostragem casual simples (ACS) e pela amostragem casual estratificada (ACE), determinando assim o número ótimo de toras (n) a serem amostradas nas diferentes porcentagens do erro admissível adotadas neste estudo, a 95% de probabilidade. De acordo com os resultados, o número de toras de madeira a serem amostradas pela ACS para cada erro admissível 5, 10, 15 20% foi, respectivamente, 214, 55, 25 14 toras; para a ACE (proporcional) foi 141, 35, 16 e 9; e para ACE (ótima) foi 136, 34, 15 e 8. Concluiu-se que o método de amostragem mais indicado para este estudo, considerando um mesmo erro admissível, foi a ACE. Em relação ao erro admissível, é necessário realizar um estudo para avaliar até que ponto é viável economicamente fazer uma amostragem com o erro admissível menor ou maior ao que normalmente é utilizado para o setor florestal (10 a 15%).

**Palavras-chave:** Amostragem casual simples, amostragem casual estratificada e classe de diâmetro.

# CHAPTER 1

## SAMPLING METHODS AND NUMBER OF ROUNDWOOD FOR DETERMINING THE MOISTURE CONTENT

**Abstract** – Determining the moisture of the wood is fundamental for every process. In industrial process, in which the roundwood volume is very large, it is needed to make a sampling that is capable of representing all the moisture of the wood used in the process. Therefore, this work had the objective of comparing two methodologies of sampling (Simple Casual Sampling and Stratified Casual Sampling) in order to determine the optimum number of roundwood samples to obtain the moisture content of the population. To achieve this, different percentages of acceptable error (5;10;15 and 20%) were considered for each sampling methodology. In the conduction of the work samples were randomly taken from a lot of 250 stof wood, 144 roundwood of three meters of size and distributed in four classes of diameter. Later, the moisture content of these samples were determined and from this values the population estimates (average, standard deviation, variance, variation coefficient, standard error) by simple casual sampling (ACS) and by stratified casual sampling (ACE), determining the optimum number of roundwood (n) to be sampled from different percentages of acceptable error adopted in this study at 95% probability. According to the results, the number of roundwood to be sampled from ACS for each acceptable error 5; 10; 15; 20% was respectively 214; 55; 25 and 14 roundwood. For the ACE (proportional) the number of roundwood was 141; 35; 16; 9 and for ACE (Neyman) this number was 136; 34; 15 and 8 roundwood. It was concluded that the more indicated sampling method for this study, considering a same acceptable error, was the ACE. In regard to the acceptable error, it's necessary to do an advanced study evaluating to which point is economically viable to do a sampling with the acceptable error less or higher than the one usually seen on forestry sector (10% to 15%).

**Keywords:** simple casual sampling; stratified casual sampling and diameter class.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização racional da madeira como matéria-prima implica padronização de suas características, seja para celulose, carvão vegetal, madeira serrada, dentre outros, o que garante maior eficiência de conversão. O teor de umidade se destaca entre as principais características da madeira, pois o seu acompanhamento durante o processo de secagem é de grande necessidade para sua trabalhabilidade e utilização para diferentes consumidores finais, a exemplo dos produtores de carvão vegetal. Em processos industriais, nos quais o volume de toras de madeira é muito grande, faz-se necessário realizar uma amostragem, de modo que ao determinar o teor de umidade dessa amostra seu valor represente, com precisão, a quantidade de água de toda a madeira utilizada no processo.

Logo, a determinação do teor de umidade da madeira é fundamental para obtenção da melhor relação custo/benefício e, conseqüentemente, para orientar as empresas quanto à tomada de decisão para uso da madeira, principalmente em processos industriais, por ser o volume de toras muito grande.

O volume de toras normalmente utilizado pelas empresas é grande, portanto é importante definir o número de amostras de madeira para determinação do teor de umidade, salientando que este é dependente do objetivo do trabalho, dos recursos disponíveis, da precisão requerida, da variabilidade da característica a ser medida e do método de seleção e distribuição das unidades de amostra, conforme descrito por Soares (2011).

Segundo Campos e Leite (2013), há dois critérios para determinar o tamanho de uma amostra, o primeiro em função da porcentagem da área da população a ser amostrada, devendo ser ressaltado que, neste caso, não há como estabelecer a precisão da amostra com antecipação e o erro só será conhecido após sua conclusão; e o segundo em razão de um erro de amostragem estabelecido antecipadamente, em determinado nível de probabilidade. Esse critério de estabelecimento do tamanho da amostra é definido como método ótimo de amostragem, pelo fato de o número de unidades amostrais medido ser compatível com o erro máximo preestabelecido.

A determinação precisa de uma amostragem do número de toras de madeira para obter o valor médio do teor de umidade é de extrema importância para os diversos usos da madeira, quando se quer ter o controle dessa variável. Este cálculo, na maioria das vezes, não é feito de forma confiável, sendo constantemente subestimado, por não se

utilizar uma amostragem correta, principalmente considerando o número de toras e os seus respectivos diâmetros, pois estas variáveis têm grande influência no processo de secagem e, conseqüentemente, na quantidade de água contida na madeira.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Comparar dois métodos de amostragem (amostragem casual simples e a amostragem casual estratificada), visando à determinação do número ótimo de toras a serem amostradas em uma pilha de madeira em tora para estabelecer o teor de umidade.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar diferentes porcentagens de erro admissível (5, 10, 15 e 20%) para cada método de amostragem empregado.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1 Amostragem**

A amostragem é uma técnica amplamente utilizada no estudo de populações, por apresentar menor custo e rapidez na obtenção e análise dos dados.

É importante definir o conceito de amostra e amostragem. Amostra é um subconjunto da população, é uma parte do todo. Já a amostragem é um campo da estatística que estuda técnicas de planejamento de pesquisa para possibilitar inferências sobre um universo a partir do estudo de uma pequena parte de seus componentes, uma amostra (MAROTTI *et al.*, 2008).

Segundo Oliveira (2001), há duas divisões no processo de amostragem: a probabilística e a não probabilística. A amostragem probabilística é a única forma que permite planos de amostra representativa. Permite que o pesquisador estime até que ponto os resultados baseados em sua amostra tendem a diferir dos que seriam encontrados por meio do estudo da população. São amostras consideradas rigorosamente estatísticas e têm como principais características: a) poder especificar, para cada elemento da população, sua probabilidade de ser incluído na amostra; e b) poder ser submetida a tratamento estatístico, o que permite compensar erros amostrais. Na amostragem não probabilística, por ter como característica principal não fazer uso de

formas aleatórias de seleção, torna-se impossível a aplicação de formas estatísticas para cálculo. É usada quando não se conhece o tamanho do universo e os indivíduos são selecionados por meio de critérios subjetivos do pesquisador.

Na realização de qualquer estudo, é praticamente impossível examinar todos os elementos da população de interesse, por isto é necessário trabalhar com amostra da população, e a inferência estatística dá elementos para generalizar, de maneira segura, as conclusões obtidas da amostra para a população, ressaltando que se deve definir com cautela a população de interesse.

Assim que se decide obter informações por meio de um levantamento amostral, surgem imediatamente dois problemas: definir cuidadosamente a população de interesse; e selecionar a característica que vai ser pesquisada. Em se tratando de amostra, a preocupação central é que ela seja representativa (CORREA, 2006).

## **3.2 Tipos de amostragem probabilística**

### **3.2.1 Amostragem casual simples**

A amostragem casual simples (ACS) consiste na seleção de uma amostra com  $n$  unidades amostrais (u.a), em que todas as possíveis combinações de  $n$  unidades teriam as mesmas chances de ser selecionadas. A distribuição e a alocação de unidades amostrais de forma casual sobre uma população que será amostrada somente serão eficientes se essa população for homogênea quanto à distribuição da variável de interesse (PEREIRA, 2003).

De acordo com Costa Neto (2002), na ACS cada componente da população estudada tem a mesma chance de ser escolhido para compor a amostra. A técnica que garante essa igual probabilidade é a seleção aleatória de indivíduos por meio de sorteio. Considerando  $N$  como o número de elementos da população e  $n$  o número de elementos da amostra, cada elemento da população tem a probabilidade  $\left(\frac{n}{N}\right)$  de pertencer à amostra. Esta relação de  $\left(\frac{n}{N}\right)$  é denominada de fração de amostragem.

### **3.2.2 Amostragem casual estratificada**

A amostragem casual estratificada (ACE) consiste na divisão da população em subpopulações mais homogêneas em termos de distribuição da variável de interesse, denominadas estrato, dentro das quais se realiza a distribuição das unidades de amostras de forma aleatória. Será mais eficiente se a variabilidade dentro de cada estrato for

menor que aquela quando se considera toda a população (COSTA NETO *et al.*, 2002). Esta estratégia geralmente é aplicada quando o evento estudado em uma população tem características distintas para diferentes categorias que dividem essa população.

A ACE possui vantagens em relação à ACS, considerando um mesmo tamanho da amostra, pois propicia estimativas mais precisas (menor erro de amostragem) para uma mesma precisão requerida, o que acarreta em menor tamanho de amostra. Sendo assim, é razoável supor que, de estrato para estrato, a variável de interesse, que no caso deste estudo é a variação do teor de umidade da madeira em tora empilhada, apresente comportamento substancialmente diverso, enquanto dentro de seu próprio estrato (classe diamétrica das toras) se apresente mais homogênea.

Dois métodos de fixação do número de amostras (n) são comuns para atender ao erro máximo admissível: o proporcional e o ótimo. No proporcional o número de elementos sorteados em cada estrato é proporcional ao número de elementos existentes no estrato. Desta forma, otimiza-se a obtenção de informações sobre a população, com base no princípio de que onde a variação é menor menos elementos são necessários para caracterizar o comportamento da variável. No ótimo a distribuição é em função da proporção e também da variabilidade do estrato.

### **3.3 Erro amostral**

Um censo, ao contrário da amostragem, envolve a medição de toda a população. A realização de um censo só é possível em ocasiões especiais, por exemplo, para populações de pequenos tamanhos. É errôneo pensar que em caso de acesso a todos os elementos da população haja mais precisão. Os erros de coleta e manuseio de um grande número de dados são maiores que as imprecisões quando se generalizam, via inferência, as conclusões de uma amostra bem selecionada (CORREA, 2006).

Para que uma amostra represente com precisão as características de uma população, ela deverá ser em um número suficiente. Este número, por sua vez, depende de fatores como tipo de mensuração da variável em estudo, extensão da população, nível de significância estabelecido, erro máximo permitido, porcentagem com a qual o fenômeno se verifica ou a variância da variável (MARTINS, 2002).

Quando o uso da amostragem visa à estimação da média populacional, o erro em porcentagem utilizado para o cálculo do tamanho da amostra, na maioria das vezes, varia entre 5 e 10% do valor da média amostral. Já no caso da amostragem para determinação da proporção populacional, o erro de medição é expresso em termos

porcentuais e cabe salientar que se trabalha com uma estimativa de erro entre 5 e 15% na área florestal, porém, assim como o nível de significância, o erro aceitável de medição é definido pelo pesquisador ou por normas para a variável em estudo (CORREA, 2006).

### 3.4 Determinação do tamanho da amostra

O dimensionamento amostral se refere à determinação do tamanho mínimo necessário de uma amostra a ser utilizada em um estudo ou experimento, de forma que este tenha validade científica (ARANGO, 2005).

Para definir o tamanho de uma amostra é necessário determinar a média, o desvio-padrão, a variância, o coeficiente de variação e o erro admissível da variável em estudo. Outra informação importante é a forma da distribuição amostral. Na maioria das metodologias, o coeficiente de variação é o parâmetro mais utilizado nos estudos de tamanho amostral. Uma das técnicas mais simples é a comparação do coeficiente de variação obtido nas análises de variância realizadas com diferentes tamanhos amostrais (SILVA, 2005).

Segundo Cochran (1965), o tamanho da amostra está relacionado com o tamanho da população, podendo ser finita ou infinita. Porém, essa definição existe apenas no campo teórico, uma vez que na prática não se encontram populações com infinitos elementos, mas sim populações com um grande número de componentes; nestas circunstâncias as populações são tratadas como se fossem infinitas.

Para estimar o tamanho da amostra ( $n$ ), em função de  $t$ , que corresponde ao grau de confiança estipulado, normalmente utilizam-se as seguintes equações fundamentais apresentadas por Husch (1972):

$$n = \frac{t^2 \times CV^2}{(E\%)^2}$$

População infinita

$$n = \frac{t^2 \times (CV)^2}{(E\%)^2 + \frac{t^2 \times (CV)^2}{N}}$$

População finita

em que  $n$  = tamanho da amostra;  $E$  = precisão requerida ou erro admissível em torno da média;  $N$  = número total de unidades amostrais;  $CV$  = coeficiente de variação; e  $t$  = valor tabelado da estatística “ $t$ ” de Student, a dado nível de significância ( $\alpha$ ) e  $n-1$  graus de liberdade.

A fórmula de intensidade amostral sugerida por Husch (1972) é uma metodologia muito utilizada na determinação do tamanho amostral, sendo este tamanho dependente do coeficiente de variação e da precisão experimental (erro máximo admissível), geralmente 5 e 15% (CORREA, 2006).

A necessidade de determinação do tamanho da amostra ideal é imprescindível nos vários ramos da pesquisa. Cabe lembrar que o superdimensionamento, apesar de ser cientificamente viável para pesquisa, pode acarretar outros problemas, como o aumento do custo.

### **3.5 Parâmetros da madeira em tora que influenciam a amostragem**

A umidade da madeira é uma característica física importante, e o seu acompanhamento durante o processo de secagem é necessário para sua trabalhabilidade e utilização para diferentes consumidores finais, a exemplo dos produtores de carvão vegetal. Em processos industriais, em que o volume de toras de madeira é muito grande, faz-se necessário realizar uma amostragem, de modo que ao determinar o teor de umidade dessa amostra o valor represente com precisão a quantidade de água de toda a madeira utilizada no processo. Porém, antes de definir qual o tipo de amostragem e qual intensidade amostral que se deve usar, é necessário levar em consideração os principais parâmetros da madeira em tora que podem influenciar a precisão e o custo da amostragem.

No caso específico da madeira em tora o problema da amostragem torna-se mais sério e de difícil solução, dada à variabilidade do teor de umidade em função da heterogeneidade do material, do diâmetro e comprimento da tora, da localização de cada tora na pilha, da data de corte e também da idade do material. Logo, é interessante separar a madeira usando como base essas variáveis, uma vez que elas têm influência negativa na precisão da amostragem da madeira em tora.

A simplificação da amostragem em termos de quantidade de toras destinadas às análises de determinação do teor de umidade representa economia de tempo, de mão de obra e, conseqüentemente, de recursos financeiros na sua utilização.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram amostradas, ao acaso, 144 toras de uma população de 250 estéreos de madeira (4.639 toras) do gênero *Eucalyptus sp.* com 6 anos de idade, cultivada em espaçamento 3,0 x 2,0 metros, provenientes de plantios florestais da Empresa Gerdau, situada no município de Três Marias, Minas Gerais.

As toras amostradas tinham 3 metros de comprimento e foram classificadas em quatro classes diamétricas (8-11; 11-14; 14-17, e 17-20 cm). O teor de umidade de cada tora de madeira que compôs a unidade amostral foi determinado de acordo a norma da ABNT NBR 14929.

Utilizaram-se dois métodos probabilísticos de seleção e distribuição das unidades de amostras (u.a.), ou seja, a amostragem foi analisada com igual probabilidade de seleção das u.a., sendo estes métodos a amostragem casual simples e a amostragem casual estratificada.

Primeiramente, por meio da teoria da amostragem, buscaram-se quais abordagens distintas se têm em relação ao tamanho de uma amostra casual simples (ACS) e também de uma amostra aleatória estratificada (ACE), para estimação do número ótimo de toras a serem amostradas para se determinar o teor de umidade média da pilha de madeira. O objetivo era que esse valor fosse capaz de representar a quantidade de água real contida na madeira a ser utilizada. Os dados da amostragem foram testados, considerando-se diferentes porcentagens de erro admissível (5, 10, 15 e 20%), com 95% de probabilidade de acerto. Utilizou-se o programa Microsoft Office Excel para análise dos dados.

Para proceder ao cálculo do número de toras de madeira a serem amostradas para determinação do teor de umidade estabeleceu-se a população como finita, em virtude de se conhecer o número de toras no box.

Para proceder às análises do método da ACS, primeiramente foram obtidas a umidade média das toras, a variância da média, o desvio-padrão, o erro-padrão, o coeficiente de variação da população, o erro de amostragem, o intervalo de confiança para média, assim como o número de amostras para os erros e a probabilidade admitidos.

Os estimadores populacionais da ACS, apresentados na Tabela 1, foram calculados de acordo com Soares *et al.* (2011).

Tabela 1- Fórmulas utilizadas para os cálculos dos estimadores populacionais da amostragem casual simples

Média	$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}$
Variância	$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)^2}{n}}{n - 1}$
Desvio-padrão	$s = \pm\sqrt{s^2}$
Coefficiente de variação	$CV = \pm \frac{s}{\bar{Y}} * 100$
Erro-padrão da média	$S_{\bar{Y}} = \pm \sqrt{\frac{s^2}{n}}$
Erro de amostragem	$E = s_{\bar{Y}} * t$
Erro de amostragem (%)	$E(\%) = \frac{E}{\bar{Y}} * 100$
Tamanho da amostra	$n = \frac{t^2 * (CV)^2}{(E\%)^2 + \frac{t^2 * (CV)^2}{N}}$
Em que n = tamanho da amostra; E = erro de amostragem admissível em torno da média; $s^2$ = variância da característica analisada nas unidades amostrais; N = número total de unidades amostrais; Y = variável de interesse (tora); CV= coeficiente de variação; s = desvio-padrão; $S_{\bar{Y}}$ = erro-padrão da média; e t = valor tabelado da estatística “t” de Student, a dado nível de significância ( $\alpha$ ) e $n-1$ graus de liberdade.	

Considerando que existe grande heterogeneidade, principalmente, quanto à classe de diâmetro das toras a serem utilizadas e aos diferentes gradientes de umidade, optou-se por analisar também os resultados obtidos pela ACE, sendo consideradas como estrato as diferentes classe de diâmetro analisadas neste estudo. Para análise da ACE foram determinados os seguintes estimadores: média por estrato, média estratificada, variância estratificada, erro-padrão e erro de amostragem, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2- Fórmulas utilizadas para os cálculos dos estimadores populacionais da amostragem casual estratificada

Média estimada por estrato	$\bar{Y}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} Y_{ij}}{n_j}$
Média estratificada	$\bar{Y} = \frac{\sum_{j=1}^M N_j \bar{Y}_j}{N}$
Variância da média de cada estrato	$S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} Y_{ij}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n_j} Y_{ij}\right)^2}{n_j}}{n_j - 1}$
Desvio-padrão por estrato	$S_j = \pm \sqrt{S_j^2}$
Coefficiente de variação por estrato	$CV_j = \frac{\sum_{j=1}^M P_j S_j}{\bar{Y}_j} * 100$
Erro-padrão da média estratificada	$S_{\bar{Y}} = \pm \sqrt{S_{\bar{Y}}^2}$
Erro de amostragem	$E = S_{\bar{Y}} * t$
Erro de amostragem (%)	$E(\%) = \frac{E}{\bar{Y}} * 100$
Fixação do tamanho da amostra: fixação proporcional	$n = \frac{t^2 * \sum_{j=1}^M P_j S_j^2}{(E)^2 + \frac{\sum_{j=1}^M P_j S_j^2}{N}}$
Fixação do tamanho da amostra: fixação ótima	$n = \frac{t^2 * \left(\sum_{j=1}^M P_j S_j\right)^2}{(E)^2 + \frac{\sum_{j=1}^M P_j S_j^2}{N}}$
<p>Em que: n = tamanho da amostra; E = erro de amostragem admissível em torno da média; <math>s^2</math> = variância da característica analisada nas unidades amostrais; N = número total de unidades amostrais; Y = variável de interesse (tora); CV= coeficiente de variação; s= desvio-padrão; <math>s_{\mu}</math>= erro-padrão da média; e t= valor tabelado da estatística “t” de Student, a dado nível de significância (<math>\alpha</math>) e n-1 graus de liberdade.</p>	

As análises da ACE foram obtidas pela fixação do tamanho da amostra proporcional e também pela fixação ótima.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 estão as frequências e o volume médio de madeira da tora em função da classe de diâmetro.

Tabela 3 - Frequência e volume médio de madeira por tora em função da classe de diâmetro

Classe de Diâmetro (cm)	Centro da Classe	Frequência (%)	Volume Médio por Tora (m <sup>3</sup> )
8-11	9,5	27,3	0,0213
11-14	12,5	49,1	0,0368
14-17	15,5	18,4	0,0566
17-20	18,5	5,2	0,0806

Volume da madeira empilhada: 250 st; fator de empilhamento: 1,40; número total de toras no box: 4.639; volume médio das toras ponderados pela frequência de diâmetros: 0,0385.

Esses resultados foram utilizados para as análises dos procedimentos da amostragem (ACS e ACE), considerando principalmente os aspectos quantitativos.

Na Tabela 4 estão os resultados das estimativas da ACS e também da ACE.

Tabela 4 - Resultado das estimativas da amostragem casual simples e da amostragem casual estratificada

Estatística	ACS	ACE
Número total de toras (N)	4639	4639
Número de toras amostradas (n)	144	144
Número de toras por estrato	-	36
Teor de umidade médio (%)	61,84	56,88
t calculado	1,98	1,98
Erro-padrão da média	1,95	1,95
Erro de amostragem	3,86	2,76
Erro de amostragem (%)	6,24	4,85
Coefficiente de variação (%)	37,88	29,47
Intervalo de confiança para a média	61,84 ± 3,86	56,88 ± 2,76

$\alpha = 0,05$ .

Constata-se que a amostragem casual estratificada teve melhor resultado que a amostragem casual simples, pois apresentou o menor erro (4,85%). Rachid e Couto (1999) e Alvarenga *et al.* (2010), em estudo de comparação entre métodos de amostragem, também encontraram esse mesmo padrão de resposta em inventários

florestais. Esse fato já era esperado, porque ao estratificar diminuem-se as fontes de variação e, conseqüentemente, o erro de amostragem, ou seja, cada estrato é mais homogêneo do que o fragmento como um todo.

Ao analisar os erros de amostragem referentes aos dois procedimentos em questão, considerando um erro admissível de 5%, constata-se que a ACS não está dentro do limite de erro admitido, sendo necessário amostrar mais 70 toras, conforme ilustra a Figura 1.

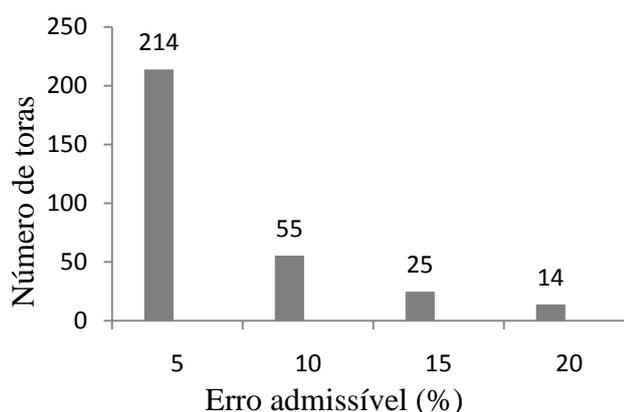


Figura 1- Número de toras por o erro admissível (ACS).

Já a ACE, considerando tanto a fixação proporcional quanto a fixação ótima, atendeu ao erro admissível de 5%, como mostra a Figura 2.

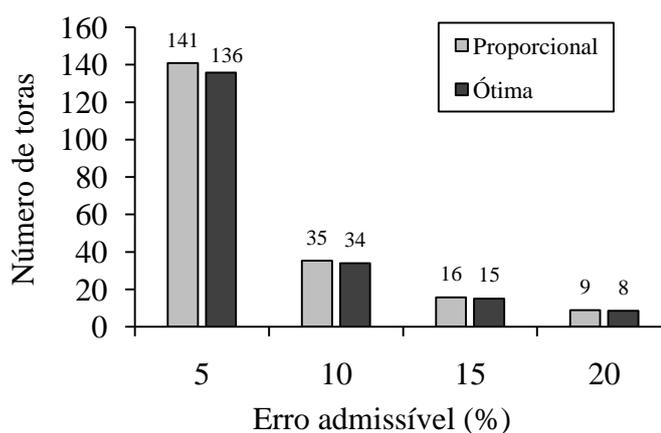


Figura 2 - Número de toras por o erro admissível (AE).

Os demais erros admissíveis (10, 15 e 20%) testados neste estudo, para ambos os métodos de amostragem, foram atendidos, considerando o número de amostras

utilizadas inicialmente. No entanto, o valor apresentado pela ACE para o mesmo erro admissível foi inferior ao da ACS, o que indica maior precisão. A pequena variação em torno da média apresentada para o intervalo de confiança obtido pela ACE vem reforçar o indicativo de sua maior eficiência em relação à ACS.

Observa-se, para ambos os procedimentos amostrais utilizados neste estudo, que à medida que o erro admissível diminuiu o número de unidades de toras a serem amostradas aumentou e, conseqüentemente, aumentou também a precisão da amostragem. Porém, do ponto de vista prático e econômico, faz-se necessário realizar um estudo para saber até que ponto é viável fazer uma amostragem com o erro admissível inferior a 10%, tendo em vista que quanto menor o erro admissível a ser utilizado maior o tempo gasto para realização das análises, os custos envolvidos e a mão de obra.

Deve-se levar em consideração que o número de toras a serem amostradas para cada método de amostragem e erro admissível encontrado neste estudo é para essa condição. Logo, são necessárias diferentes condições de uso da madeira para realizar o cálculo de suas estimativas em relação ao seu teor de umidade médio e, a partir daí, calcular a intensidade amostral da pilha de madeira que se pretende trabalhar.

Na ACE foram analisados quatro estratos, representados por classe de diâmetro (Tabela 5). Ressalta-se que quando se trabalha com madeira em tora há grande variação de diâmetro, o que acarreta em heterogeneidade em relação à sua umidade, uma vez que o diâmetro também é uma das variáveis que tem influência na secagem da madeira; logo as toras com maior diâmetro têm maior gradiente de umidade, quando comparadas com as de menor. Chagas (2010) e Rezende (2010), em estudos sobre secagem natural da madeira, comprovam essa afirmação, e concluíram que a secagem da madeira está diretamente correlacionada com o diâmetro das peças. Sendo assim, fica evidente a necessidade de se fazer uma ACE em vez da ACS, pois além de reduzir a variabilidade das toras, em função do diâmetro, aumenta a precisão da amostragem, diminui o tempo, devido à menor intensidade amostral, quando comparado com a ACS, e também ajuda a reduzir o custo de amostragem.

Tabela 5 - Número de toras a serem amostradas por estrato para ACE utilizando a fixação ótima e a fixação proporcional

<b>Erro Admissível</b>	<b>Estrato</b>	<b>Classe de Diâmetro (cm)</b>	<b>Fixação Ótima</b>	<b>Fixação Proporcional</b>
5%	1	8 – 11	28	38
	2	11 – 14	67	69
	3	14 – 17	33	26
	4	17 – 20	8	8
10%	1	8 – 11	7	10
	2	11 – 14	17	17
	3	14 – 17	8	6
	4	17 – 20	2	2
15%	1	8 – 11	3	4
	2	11 – 14	7	8
	3	14 – 17	4	3
	4	17 – 20	1	1
20%	1	8 – 11	2	2
	2	11 – 14	4	4
	3	14 – 17	2	2
	4	17 – 20	0	1

Constata-se na Tabela 5 que a ACE utilizando a fixação ótima foi a mais precisa, devendo ser ressaltado que para uma mesma intensidade amostral foi necessário amostrar um menor número de toras para cada estrato em comparação com a fixação proporcional. Na determinação da ACE utilizando a fixação proporcional, o número de elementos em cada estrato é proporcional ao número de elementos existentes no estrato, não levando em consideração a alteração da variável de interesse, que no caso deste estudo foi o teor de umidade. Já o menor número de toras a serem amostradas pela a ACE, utilizando a fixação ótima, se deve ao fato de que além de se tomar em cada estrato um número de elementos proporcional ao número de elementos do estrato, toma-se também a variação da variável de interesse no estrato, sendo a alteração dessa variável de interesse medida pelo seu desvio-padrão.

## 6. CONCLUSÕES

- As duas metodologias de amostragem, ACS e a ACE, foram apropriadas para a determinação do número ótimo de toras a serem amostradas para representar a umidade média da pilha de madeira. Porém, recomenda-se o emprego da ACE utilizando a fixação ótima, uma vez que a sua precisão é maior, conseqüentemente é menor o número de toras necessárias a serem amostradas por esse método.
- Em relação às diferentes porcentagens de erro admissível para o cálculo da intensidade amostral, é aconselhável, do ponto de vista prático e econômico, realizar um estudo avaliando até que ponto é viável fazer uma amostragem com o erro admissível menor ou maior ao que normalmente é utilizado para o setor florestal (10 a 15%), tendo em vista que quanto menor o erro admissível a ser utilizado, maior o tempo gasto para realização das análises, conseqüentemente maiores são os custos envolvidos. Por outro lado, quanto maior esse erro, maiores são as chances de não se fazer uma correta amostragem.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, L. H. PINTO, V., A. L. R., SILVA, S. T., ALTOÉ, T. F., MORAIS, V. A., MELLO, J. M. **Comparação de procedimentos de amostragem na precisão de Inventário florestal em fragmento de floresta estacional Semidecidual**. XIX Congresso de pós-graduação da UFLA, 2010.

ARANGO, HÉCTOR GUSTAVO. **Bioestatística** – Teórica e Computacional, editora Guanabara Koogan, 2ª edição, 2005, Rio de Janeiro/RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa**, NBR 14929. 2003. 17p.

CAMPOS, J. C. C. e LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**, 1 ed. Viçosa, MG: 2002. 407p.

CARNEIRO, A. de C. Qualidade da madeira e tecnologias para produção de carvão vegetal. In: SEMINÁRIO FLORESTAS PLANTADAS DO MATO GROSSO DO SUL, 1., 2007, Campo Grande. **Anais...** Disponível em: <<http://www.reflore.org.br/palestras/QualidadeDaMadeiraetecnologiasParaProducaoDeCarvaoVegetal.pdf>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2013.

CORREA, S. M. B. B. **Probabilidade e estatística**. 2.ed. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2006.

CHAGAS, L. **Secagem da madeira para produção de carvão vegetal**. II Fórum nacional sobre carvão vegetal 2010. Apresentação de slides.

COCHRAN, W. G. **Técnicas de amostragem**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1965.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 2.ed New York: The Ronald, 1972. 410 p.

JUVILLAR, J. B. **O carvoejamento da madeira e seus reflexos na qualidade do carvão**: qualidade da madeira. Piracicaba: IPEF, 1979. 6 p. ( IPEF. Circular Técnica, 64). Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr064.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2013.

MAROTTI, J.; GALHARDO A.L.P. M.; FURUYAMA R. J.; PIGOZZO, M.N.; CAMPOS, T. N.; LAGANÁ, D.C. **Amostragem em pesquisa clínica: Tamanho da amostra**. Revista de Odontologia da Universidade Cidade de São Paulo 2008, maio-ago; 20(2): 186-194.

MENDES. M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Propriedades e controle da qualidade do carvão vegetal. IN: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte 1982. p. 77-89.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S.; TROSSERO, M. A.; FRISK, T. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000.

NUMAZAWA, S. Influência da pressão sobre o rendimento da pirólise da madeira. In: WORKSHOP MEIO AMBIENTE: CONSERVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE ÁREAS FLORESTAIS, 1., 2001, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UEMG, 2001. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 115-127, jan./fev. 2005.

OLIVEIRA, T. M. V. **Amostragem não probabilística: adequação de situações para uso e limitações de amostras por conveniência, julgamento e cotas**. *Rev Adm On Line* 2001 jul/ago/set.; 2(3).

PEREIRA, M. G. **Epidemiologia: teoria e prática**. 7.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

RACHID, C. E. COUTO, H. T. Z. **Estudo da Eficiência de Dois Métodos de Amostragem de Árvores de Rua na cidade de São Carlos – SP**. SCIENTIA FORESTALIS n. 56, p. 59-68, dez. 1999.

REZENDE, R. N.; LIMA, J. T.; PAULA, L. E. R.; FARIA, A. L. R. **Secagem ao Ar Livre de Toras de *Eucalyptus grandis* em Lavras, MG.** Cerne, Lavras, v. 16, Suplemento, p. 41-47, jul.2010.

SANTOS, G. R. V. **Otimização da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden).** 2002. 81 fls. Dissertação (Mestrado em Ciência e tecnologias de Madeira). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e Inventário Florestal.** Viçosa: Ed. UFV, 2006. 152 p.

SILVA, P. S. L.; BARBOSA, Z.; GONÇALVES, R. J. S.; SILVA, P. I. B.; NUNES, G. H. S. Sample size for the estimation of some sorghum traits. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.4, n.2, p. 149-160, 2005.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach.** New York: McGraw-Hill. 1980. 667p.

VALENTE, A. F. LELLES, J. G. Carbonização da madeira de Eucalyptus. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 141, p. 74-79, set. 1986.

VIANA, E.; REZENDE, M. E. A.; PINHEIRO, P. C. da C.; SAMPAIO, R. S. **A produção de carvão vegetal: teoria e prática.** Belo Horizonte: [s.n.], 2006. 103 p.

## CAPÍTULO 2

### MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E DE DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA EM TORA

**Resumo** - Em praticamente todos os segmentos consumidores de madeira, por exemplo, na produção de móveis, na construção civil e no uso da madeira como suprimento energético, entre outras aplicações, é fundamental que se conheça e se possa controlar o teor de umidade da madeira para obter melhores produtos e economia nos processos. O método mais confiável hoje para determinação do teor de umidade da madeira em tora é o estabelecido pela norma da ABNT NBR 14929, que é preciso, porém demorado e caro. Devido às desvantagens deste método, faz-se urgente o desenvolvimento de métodos rápidos de determinação do teor de umidade da madeira em tora, que sejam de baixo custo e confiáveis. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo principal avaliar diferentes alternativas de coleta de amostras e de determinação do teor de umidade da madeira em tora e compará-las com o método estabelecido pela norma da ABNT-NBR14929. As alternativas de coleta de amostras e determinação do teor de umidade da madeira em tora foram avaliadas por meio de uma balança analisadora do teor de umidade, quando na coleta das amostras foram utilizadas uma furadeira elétrica portátil e um trado manual, coletando as amostras em forma de serragem. Também foram utilizados os medidores elétricos do tipo capacitivo e resistivo. Devido a eventuais distorções entre os resultados encontrados por esses métodos, em comparação com o método ABNT-NBR14929, foram estabelecidos um fator de correção e um modelo de regressão para fazer os ajustes. Também foi avaliado o gradiente de umidade da tora, em função de três classes de diâmetro (10 - 12; 14 - 16; e 18 - 20 cm) e de três comprimento de toras ( 1,5; 3,0; e 4,5 m), buscando ao longo da tora o local onde o teor de umidade mais se aproximaria do teor de umidade médio da tora. Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando estabelecidas as diferenças entre eles, aplicou-se o teste de Tukey. Constatou-se que os valores da umidade de todos os métodos utilizados neste estudo foram significativamente diferentes, sendo o método da balança determinadora de umidade o que mais aproximou do método preconizado pela ABNT-NBR14929, quando se utilizou a furadeira elétrica para retirada das amostras. Porém, ao utilizar o fator de correção e também o modelo de regressão, constatou-se que todos os métodos foram significativamente iguais, sendo os valores obtidos pelo

modelo de regressão mais precisos que os fornecidos pelo fator de correção. Em relação à influência do diâmetro e do comprimento no gradiente de umidade das toras de madeira, os resultados mostraram que quanto maior o diâmetro, maior o gradiente de umidade da tora. Em relação ao comprimento, observou-se que o teor de umidade médio das toras de 1,5 e 3,0 m foram significativamente diferentes. Para as toras de madeira de 3,0 e 4,5 m de comprimento essa diferença não foi observada. No que diz respeito ao perfil de umidade no sentido longitudinal da tora, constatou-se que para as toras de 1,5 e 3 m aproximadamente um quinto de seu comprimento seria a região que representa o seu teor de umidade médio. Já nas toras de 4,5 m o padrão de respostas não seguiu a tendência das demais. Conclui-se que desde que se utilize um fator de correção ou um modelo de regressão, os métodos de determinação do teor de umidade da madeira testados neste estudo são adequados para determinação da umidade da madeira em tora de maneira rápida, eficiente e com menor custo, quando comparados ao método da ABNT-NBR14929.

**Palavras-chave:** Amostragem do corpo de prova, fator de correção, medidores elétricos, balança analisadora de umidade.

## **CHAPTER 2**

### **SAMPLING METHODS AND MOISTURE CONTENT DETERMINATION IN ROUNDWOOD**

**Abstract** - In almost every wood consumption segment, for example in furniture production, construction industry and as an energy supply, among other applications, it's fundamental to know and control the moisture content to obtain better products and economy in the processes. Nowadays, the most trustable method to determine the roundwood moisture content is the one established according to the ABNT NBR 14929 norm, which is however slow and expensive. Because of the ABNT NBR 14929 method disadvantages, it's extremely necessary developing methods of determining the roundwood moisture content which are fast, inexpensive and trustable. For this, the present study had the main objective of evaluating different ways of collecting samples and determining the roundwood moisture content and comparing them to the established method of the ABNT-NBR14929 norm. The alternative ways of collecting samples and roundwood moisture of roundwood were determined using an analyzing scale of moisture content, the sample collecting used a portable electric drill and a manual auger, collecting samples in sawdust form. Electrical meters of the capacitive and resistive type were also used. Because of the eventual distortion among the results found by these methods comparing the theABNT-NBR14929 method, a correction factor and a regression mode were established to make the adjustments. The moisture gradient of the rounwood was also evaluated in function of three diameter classes (10 - 12; 14 - 16 and of 18 - 20 cm) and three of length ( 1,5; 3,0 and 4,5 m), searching along the roundwood the place where the moisture content would be closer to the average moisture content. The data was submitted to the variance analysis and, when differences were found among them, the Tukey test was applied. It was observed that the moisture values of all the methods used in this study were significantly different, being the moisture determining scale the one that got closer to the one preconized by the ABNT-NBR14929, when the electrical drill was used to get the samples. However, in utilizing the correction factor and also the regression model all the methods were significantly the same, being the values gotten from the regression model were more precise than the ones given by the correction factor. Regarding the influence of the diameter and length in the roundwood moisture gradient, the results showed that the bigger the diameter, bigger will be the roundwood moisture. Regarding the length, it was observed that the

average moisture content of 1,5 and 3,0 m roundwood were significantly different. For roundwood of 3,0 and 4,5 m of length this difference was not observed. About the moisture profile in the longitudinal axis of the roundwood, it was observed that for 1,5 and 3 m in about 1/5 of its length, being the region that represents the average moisture content. Finally, in the 4,5 m roundwood the answer pattern didn't followed the tendency of the others. It was concluded that, since a correction factor or a regression method is used, the methods of determining the moisture content tested in this study are adequate to determine the roundwood moisture content in a fast, efficient and less costly than compared to the method.

**Keywords:** Specimen sampling, correction factor, electrical meters, moisture analyzing scale.

.

## 1. INTRODUÇÃO

Em praticamente todos os segmentos consumidores de madeira, por exemplo, na produção de móveis, na construção civil, no uso da madeira como suprimento energético, entre outras aplicações, é fundamental conhecer e controlar o teor de umidade da madeira, para que se obtenham melhores produtos e economia nos processos. O método mais confiável para determinação do teor de umidade da madeira em tora é o estabelecido de acordo com a norma da ABNT NBR 14929, também chamado de método gravimétrico ou da estufa, que é preciso, porém demorado e caro. A determinação do teor de umidade por esse método é feita por meio da diferença de massa de amostras antes e depois de passarem por um processo de secagem em estufa a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ , até peso constante (ABNT, 2003).

Em virtude das desvantagens do método da ABNT NBR 14929, faz-se necessário o desenvolvimento de métodos de determinação do teor de umidade da madeira em tora que sejam rápidos, de baixo custo e confiáveis.

Há vários métodos para determinar o teor de umidade da madeira, entre eles os medidores elétricos, tanto com princípio resistivo quanto capacitivo. Esses métodos fornecem a resposta imediata do teor de umidade madeira, porém esses aparelhos não fornecem respostas com certa margem de confiabilidade para todas as classes de umidade, sendo seu uso indicado para intervalos de umidade entre 7 e 30%. Esses aparelhos são indicados para superfícies planas, o que dificulta suas análises para madeira em tora.

Algumas alternativas vêm sendo estudadas e sua precisão comparada com a do método tradicional para se obter o teor de umidade da madeira em tora. Uma dessas alternativas é a retirada de corpos de prova na tora em forma de serragem, com o auxílio de uma furadeira elétrica ou um trado manual. No entanto, não há estudos mais aprofundados na literatura a respeito desses métodos, ou esses ainda não foram publicados.

O teor de umidade da serragem removida da tora é determinado pelo princípio gravimétrico, podendo ela ser levada em estufa ou em uma balança analisadora de umidade, devendo ser ressaltado que esta última fornece uma resposta mais rápida e a um menor custo. Assim, pelo fato de esses métodos serem diferentes e também por não terem sido desenvolvidos para essa finalidade, é esperado que os seus valores sejam

diferentes dos obtidos com o método tradicional, como também os medidores elétricos descritos, conseqüentemente é necessário desenvolver curvas de correção para eles.

Outro ponto importante em escala empresarial é entender como a água se encontra na madeira, ou seja, conhecer o perfil de umidade na tora; conhecer quais variáveis interferem em sua umidade final; e saber também até que ponto variáveis como o diâmetro ou o comprimento podem interferir em seu teor de umidade final. O conhecimento dessas variáveis é de extrema importância para obter um produto final com características desejáveis.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar diferentes métodos de amostragem e determinação do teor de umidade da madeira em tora.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Obter o perfil de umidade da madeira em tora em função do diâmetro e do comprimento.
- Determinar a posição de retirada de corpo de prova ao longo da tora de madeira, onde o teor de umidade mais se aproxima da umidade média da tora.
- Determinar o teor de umidade da madeira por meio do uso de uma Balança Determinadora de Umidade, utilizando amostras retiradas a partir de uma furadeira elétrica portátil e de um trado manual.
- Determinar do teor de umidade da madeira em tora por medidores elétricos do tipo capacitivo e resistivo.
- Correlacionar os valores do teor de umidade obtido pelo método da ABNT-NBR14929 com os valores obtidos a partir dos demais métodos em estudo.
- Estabelecer fatores de correção para os valores obtidos pelos métodos alternativos, para eventuais distorções entre os resultados encontrados por esses métodos, em comparação com o método da ABNT.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Umidade da Madeira

Qualquer material lenhoso recém-colhido apresenta uma quantidade considerável de água, que, para a maioria dos casos de utilização, deve ser em parte removida. Sua concentração depende da espécie, da idade da árvore e da posição no tronco.

O teor de umidade, ou simplesmente umidade da madeira, é a relação entre a massa de água contida na matéria lenhosa e sua massa, sendo seu valor expresso em porcentagem. Esta relação pode ser feita levando em consideração a massa inicial da madeira, ou seja, base úmida, ou a massa da madeira totalmente seca, denominada de base seca, conforme as equações 1 e 2 ( KLITZKE, 2007).

$$TUu = \frac{\text{Massa inicial} - \text{Massa final}}{\text{Massa inicial}} \times 100 \quad (1)$$

$$TUs = \frac{\text{Massa inicial} - \text{Massa final}}{\text{Massa final}} \times 100 \quad (2)$$

em que

TUu = teor de umidade base úmida (%); e

TUs = teor de umidade base seca (%).

O teor de umidade base úmida é comumente utilizado em indústrias de celulose e papel, enquanto o teor de umidade base seca é empregado em indústrias de compensados, empresas produtoras de carvão vegetal, serrarias, indústrias moveleiras, entre outras. O conceito de madeira seca pode oscilar desde teores de umidade entre 20 e 30% para madeiras secas ao ar livre, até valores inferiores a 20%, no caso da secagem controlada. O teor de umidade adequado depende do produto final a ser fabricado (GLASS; ZELINKA, 2010).

O tempo entre o início da secagem da madeira verde e a obtenção da umidade desejada depende de fatores que envolvem as características entre as diferentes espécies, entre cerne e alburno da mesma espécie, como a umidade relativa da atmosfera que a circunda, o teor de extrativos, a altura e o comprimento da pilha, o pátio e as condições climáticas. Vale ressaltar que a perda de umidade no início do processo de secagem é

rápida, por exemplo: o tempo necessário para reduzir o teor de umidade de um lote de madeira, ao ar livre, de 60 para 40% é muito menor do que o tempo de secagem de 40 para 20% (JANKOWSKY, 1990).

### **3.2 Tipos e localização da água na madeira**

A água está presente na parede celular da madeira, no lume da célula e na estrutura molecular. A água que faz parte da estrutura molecular da madeira permanece constante durante o processo de secagem, porém a água presente no lume e na parede celular é eliminada, e a intensidade de sua remoção vai depender das condições climáticas do ambiente (SKAAR, 1972).

De acordo com Simpson (1991) e Klitzke (2003), os tipos de água existente na madeira são classificados da seguinte forma:

(a) Água livre ou capilar: aquela localizada nas cavidades dos componentes anatômicos, espaços intercelulares, sendo retida por fracas ligações capilares. Este é o tipo de água de mais fácil remoção durante o processo de secagem, devido a essas ligações capilares, sendo a água removida por evaporação. A partir do momento que toda água livre for removida da madeira, ela alcançará o ponto de saturação das fibras (PSF). O teor de umidade em que a madeira atinge o PSF varia normalmente entre 25 e 35%, com valor médio de 28% de umidade na base seca. O PSF é de grande importância prática, uma vez que as variações dimensionais da madeira se manifestam abaixo desse ponto e a velocidade de secagem diminui.

(b) Água de adesão ou de impregnação: a água de adesão é aquela contida nas paredes celulares, sendo retida pela madeira em uma relação mais forte do que a água livre, por ser mantida por ligações mais fortes. Este tipo água é constituída por hidrogênios fixados aos grupos hidroxilas da celulose e hemiceluloses por ligações de hidrogênio, devendo ser ressaltado que nas moléculas de celulose uma parte está unida também por ligações de valência secundária. A retirada da água de adesão é de grande importância para a tecnologia da madeira, pois afeta a maioria de suas propriedades físicas e mecânicas, além de necessitar de uma quantidade maior de energia para sua retirada.

(c) Água de constituição: encontra quimicamente combinada com as substâncias da parede celular, ou seja, é a água que faz parte das “substâncias químicas da madeira”. A água de constituição não é realmente água até que o material celulósico seja aquecido em condições drásticas, quando ocorrem degradações térmicas, resultando na quebra de

grupos hidroxílicos para formar água. A água de constituição participa da natureza orgânica da parede celular e não é removida durante a secagem, porque faz parte da madeira. A água de constituição não desempenha papel importante na inter-relação entre a substância madeira e a água de sorção, não influenciando as propriedades físicas e mecânicas da madeira.

### **3.3 Movimentação da água na madeira**

Segundo Galvão (1985), após o corte da árvore a água vai sendo lentamente evaporada, até que a umidade da madeira entre em equilíbrio com a umidade relativa do ar. O teor de umidade em que se dá o equilíbrio depende essencialmente da temperatura e da umidade relativa do ar. Por outro lado, quando a madeira é previamente seca a 0% de umidade e é exposta ao meio ambiente, devido à 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 higroscópico (UEH).

A água na madeira se movimenta de zonas de alta umidade para zonas de baixa umidade, o que significa que a parte externa da madeira deve estar mais seca que seu interior para que haja secagem. A água contida na superfície da madeira é evaporada para o ar que a envolve; tanto mais rapidamente quanto mais alta for a temperatura, menor a umidade relativa e maior a circulação de ar. Durante a diminuição da umidade da superfície da madeira, ocorre movimentação da umidade do interior para a parte externa. Desta forma, um gradiente de umidade começará a se formar, o que, entre outras palavras, significa que a madeira irá apresentar diferentes graus de umidade desde a sua parte mais interna até a mais externa (ANDRADE, 2000).

A umidade move-se no interior da madeira sob a forma líquida ou de vapor, e sua velocidade de movimentação depende basicamente da temperatura interna e externa da madeira. A água movimenta-se através de vários tipos de passagens, como: as cavidades das fibras e vasos, as células radiais, as pontuações, as aberturas, os dutos de resina, dentre outros (STEIN, 2003).

A umidade pode deslocar-se praticamente em qualquer direção, tanto lateral quanto longitudinalmente. Entretanto a sua difusão no sentido longitudinal é de 10 a 15 vezes mais rápida que no sentido transversal, assim como a difusão no sentido radial é mais rápida que no sentido tangencial (MELLADO, 2007).

O estudo da distribuição do teor de umidade ao longo de uma tora de madeira, além de importante para sua secagem, tem grande aplicação em termos práticos, uma vez que possibilita saber qual a secção longitudinal na tora que representa a menor variabilidade em torno de sua umidade média, facilitando a tomada de decisão em relação à qual região amostrar para determinar o seu teor de umidade no campo, permitindo um ganho de tempo em decorrência do menor número de amostras necessárias a serem retiradas da tora para se determinar o seu teor de umidade.

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

Segundo Klitzke (2003), quando a madeira está secando, diversas forças agem na movimentação da umidade no seu interior, como:

- **Ação da Capilaridade:** movimenta a água livre através das cavidades das células e pequenas aberturas na parede celular.

- **Diferenças da umidade relativa no interior da madeira:** estabelecem gradientes de umidade que movimentam o vapor de água por difusão.

- **Diferenças no teor de umidade:** movimentam a água de adesão através de pequenas passagens nas paredes celulares, também por difusão.

### **3.4 Métodos de determinação da umidade da madeira**

Existem diversos métodos para determinação do teor de umidade da madeira, sendo o método gravimétrico preconizado pela norma da ABNT-NBR14929 (ABNT, 2003) o mais utilizado, devido à sua precisão. Outros métodos, como os de destilação e titulação, são usados quando o gravimétrico não pode ser aplicado.

A escolha de um método adequado leva em consideração a precisão e a viabilidade econômica e, claro, a finalidade do produto, sendo importante comparar as técnicas atuais de determinação do teor de umidade para a escolha do melhor método para cada situação.

#### **3.4.1 Método de secagem em estufa ou gravimétrico**

O método da secagem em estufa (ou gravimétrico) é um dos mais precisos para determinação da umidade da madeira, porém é também aquele que requer maior período de tempo para obtenção da resposta. Geralmente, utiliza-se uma estufa dotada de

circulação forçada de ar e termostato para controle da temperatura entre  $100 \pm 2$  °C, além de uma balança com precisão de, pelo menos, 0,1g (JANKOWSKY, 1990). É um método trabalhoso, porém considerado um dos mais exatos, portanto é o mais utilizado. A exatidão dos resultados dependerá da precisão da balança e dos cuidados do operador, uma vez que neste estado a madeira absorve umidade rapidamente. Este método não é adequado para madeiras com altos teores de extrativos, pois parte da massa perdida no processo de secagem poderá ser correspondente aos extrativos, mascarando o valor real (MORESCHI, 2005).

O método gravimétrico apresenta como desvantagens o fato de ser destrutivo, exigir muito tempo para obter a resposta e ser inviável para espécies com componentes voláteis. Contudo, apresenta como grande vantagem possibilitar a obtenção de resultados, com precisão satisfatória, para qualquer umidade em que a madeira se encontrar (CALONEGO *et al.*, 2006).

### **3.4.2 Medidores elétricos**

Algumas desvantagens da determinação gravimétrica do teor de umidade e a relação encontrada entre algumas propriedades da madeira levaram ao desenvolvimento de aparelhos para determinação indireta do teor de umidade.

De acordo com Calonego *et al.* (2006), os medidores elétricos utilizados para determinação do teor de umidade da madeira são menos precisos, porém proporcionam resposta imediata e não são destrutivos.

O pesquisador Simpson (1991) classifica os medidores portáteis de umidade disponíveis no mercado em dois grupos: os resistivos (ou condutância) e os capacitivos (ou dielétricos).

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 o seu teor de umidade (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Galina (1997), estudando a variação da resistência elétrica em função dos teores de umidade de várias espécies de madeira, observou que a perda de sensibilidade dos medidores elétricos ocorre acima do PSF e abaixo de 7% do teor de umidade da madeira.

Segundo Gann (2010), o princípio de funcionamento dos medidores elétricos do tipo capacitivo baseia-se na comparação da constante dielétrica da madeira totalmente seca com a constante dielétrica da água. Por meio dos sensores aplica-se sobre a

madeira um campo elétrico definido e verifica-se que a quantidade de energia elétrica potencial na forma de polarização induzida é armazenada no volume do material. Pelo fato de a água possuir uma constante dielétrica consideravelmente superior ao da madeira totalmente seca, ao haver umidade na madeira, dentro de determinados limites, ocorrerá uma grande variação da capacidade elétrica, que pode ser percebida por sensores e correlacionada com o teor de umidade da madeira.

Uma grande vantagem dos medidores capacitivos em relação aos resistivos apresentada por Voigtlaender *et al.* (2003) refere-se ao fato de não serem invasivos e não promoverem marcas na madeira. Franzoi (1997) cita outra grande vantagem dos medidores capacitivos, a faixa de medição mais ampla, pois medem também teores abaixo de 6% de umidade e acima do ponto de saturação das fibras da madeira.

### **3.4.3 Balança analisadora de umidade por luz halógena**

A balança analisadora de umidade por luz halógena pode ser usada para determinar o teor de umidade de vários materiais, sendo frequentemente utilizada na indústria alimentícia, em estações de tratamento de água, em indústria de fabricação de plásticos, na agricultura, em instalações para geração de bioenergia, entre outros usos (OHAUS, 2008). Nesta pesquisa o analisador de umidade foi utilizado para determinar o teor de umidade da serragem retirada da madeira em tora, obtida com o auxílio de uma furadeira elétrica e também por um trado manual.

A balança analisadora de umidade é composta por dois instrumentos: uma balança de precisão e uma unidade de secagem por luz halógena. Esse aparelho opera segundo o princípio termogravimétrico para secar suas amostras. Sendo assim, a umidade da amostra é determinada pela mensuração de sua massa e sua secagem até massa constante. Inicialmente o analisador de umidade determina o peso da amostra, que é então rapidamente aquecida pela umidade de secagem halógena, fazendo com que a água nela contida evapore. Ao contrário de outros métodos termogravimétricos (estufa, radiação infravermelha, micro-ondas), o analisador halógeno de umidade opera com uma unidade secadora halógena que garante resposta de medição mais rápida (GEHAKA, 2012).

Durante a operação de secagem, o instrumento determina continuamente o peso da amostra e indica o seu valor no *display*. Ao final da secagem, o resultado é indicado como o teor de umidade em porcentagem tanto na base seca quanto na base úmida, a

porcentagem do teor de sólidos, o peso inicial e final da amostra, além de gerar uma curva de secagem da amostra.

A taxa de aquecimento é de particular importância prática. Em comparação com o método de aquecimento convencional por radiação infravermelha ou de secagem em estufa, por exemplo, o secador halógeno necessita de um período de tempo menor para alcançar o máximo poder de aquecimento. Ele também permite o uso de altas temperaturas (50 a 200 °C); um fator adicional na redução do tempo de secagem.

Os parâmetros de uma medição como a temperatura e o tempo de secagem ótimo podem ser pré-selecionados, o que vai depender da natureza, do tamanho da amostra e da precisão desejada nos resultados da medição (OHAUS, 2008). Pelo fato de neste estudo ter sido utilizada serragem de madeira, o aparelho foi configurado para trabalhar com uma temperatura de secagem de 100°C, para evitar que ocorresse degradação de algum de seus constituintes.

No entanto, apesar da importância na qualidade dos resultados das determinações do teor de umidade da amostra em estudo, a velocidade na obtenção dessa resposta também tem relevância prática, que por sinal é rápida, tendo como intervalo de tempo para determinação do teor de umidade da amostra aproximadamente 3 a 5 minutos para serragem de madeira, dependendo do seu teor de umidade inicial.

Esse método de determinação do teor de umidade possui como vantagens o fato de fornecer valores do teor de umidade da amostra de forma direta, tanto em base seca quanto em base úmida, além de fornecer o tempo decorrido para a análise, a temperatura, a identificação de teste e a curva de secagem. Porém, possui a desvantagem de realizar a determinação da umidade de apenas uma amostra de cada vez.

### **3.4.4 Outros Métodos de Determinação da Umidade**

#### **3.4.4.1. Métodos químicos**

Existem outros métodos de determinação da umidade da madeira além dos descritos anteriormente. Um dos mais importantes é o método da destilação, indicado para madeiras que contenham teor significativo de extrativos voláteis. O teor de água é determinado volumetricamente, utilizando-se produtos químicos específicos como xileno ou tolueno como extratores, por não se misturarem com a água contida na madeira (GALVÃO; JANKOWSKY 1985).

Outro método, porém menos utilizado, é o da Titulação Karl Fischer, que se baseia na determinação iodométrica da água que é removida da madeira por destilação. Ainda existe o método higrométrico, que determina a umidade da madeira introduzindo-se um higrômetro em um orifício previamente aberto na madeira. Esse orifício é selado, e após a umidade da madeira entrar em equilíbrio com o ar contido no seu interior o teor de umidade da madeira é obtido (JANKOWSKY, 2010).

De acordo com Moreschi (2005), apesar da precisão os métodos químicos para determinação do teor de umidade da madeira possuem os seguintes inconvenientes:

- necessidade de laboratório adequado e pessoal técnico habilitado;
- necessidade de vidraria de laboratório frágil e onerosa;
- necessidade de solventes caros; e
- necessidade de escapamento de vapores insalubres e facilmente inflamáveis.

#### **3.4.4.2 Micro-ondas**

A utilização de micro-ondas para determinar a umidade da madeira é um processo novo e ainda pouco estudado. Acredita-se que esse método apresente grande potencial, devido à rapidez com que se consegue obter os resultados.

A avaliação da umidade por esse método segue o princípio gravimétrico, em que a corpo de prova é pesado inicialmente em balança de precisão e posteriormente levado ao micro-ondas, até massa constante.

As micro-ondas podem ser consideradas ondas de rádio de altíssima frequência, processando um campo elétrico que rapidamente reverte a sua direção em cerca de 2 bilhões de ciclos por segundo. Moléculas polares, como a água, tentam se orientar na direção do campo elétrico, e os rápidos ciclos do campo na direção oposta causam um movimento brusco para frente e para trás nessas moléculas, e essas vibrações geram calor (WILKINSON, 2004). Segundo Metaxas e Meredith (1983), em processos de secagem de materiais em fornos de micro-ondas o principal fenômeno responsável pelo aquecimento e pela consequente extração da água é a rotação dipolar. Essa rotação do dipolo encontra resistência, o que resulta em dissipação de energia eletromagnética do campo sob a forma de calor, com o consequente aumento de temperatura.

A utilização do micro-ondas para determinação do teor de umidade da madeira pode vir a ser uma alternativa bastante viável, em termos práticos. Entretanto, é necessário realizar algumas modificações para garantir a precisão desse método. Carneiro (2010), em estudo sobre determinação do teor de umidade da madeira por

micro-ondas e medidor elétrico resistivo em comparação com o método ABNT-NBR14929, ressaltou a necessidade de padronizar as dimensões das peças para diminuir a heterogeneidade do material, priorizando a utilização de peças de menor tamanho. Além disso, faz-se necessário também testar diferentes tempos e potências do micro-ondas, para determinar qual a melhor programação para um determinado tamanho de amostra e teor de umidade inicial.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Coleta e preparo do material

Foram colhidas 14 árvores da espécie *Eucalyptus sp.* com idade de 6 anos, cultivadas em espaçamento 3,0 x 2,0 metros, pertencentes a uma propriedade particular localizada no município de Viçosa – Minas Gerais.

Após o corte, as árvores foram seccionadas em três comprimentos: 1,5; 3,0; e 4,5 metros e separadas em três classes de diâmetro, 10-12; 14-16; e 18-20 centímetros, conforme ilustra a Figura 1.

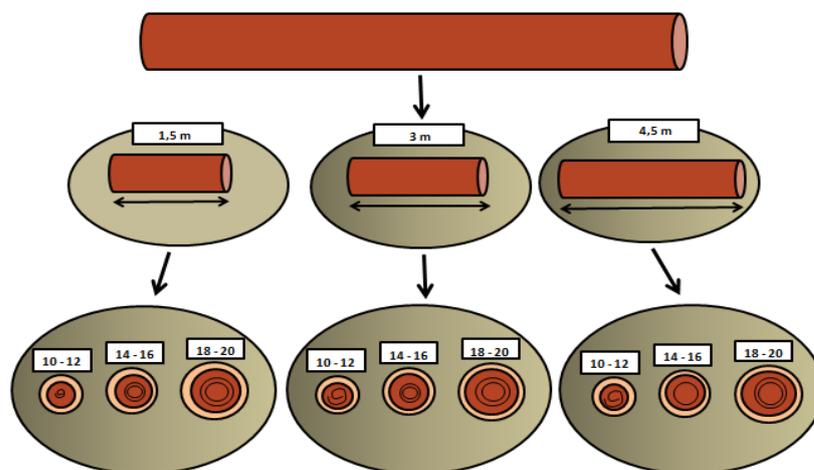


Figura 1 - Esquema do material utilizado para o estudo.

Posteriormente essas toras, separadas por comprimento e classe de diâmetro, foram empilhadas ao ar livre, totalizando-se nove pilhas de madeira. O empilhamento foi feito sobre toras suporte, orientadas segundo o comprimento da pilha, para evitar o contato direto da tora com o solo. Após o empilhamento do material, este permaneceu por um período de secagem ao ar livre por 60 dias.

## 4.2. Determinação do teor de umidade da madeira

### 4.2.1 Perfil de umidade no sentido longitudinal da madeira

A determinação do perfil de umidade da madeira em tora em função do diâmetro e comprimento teve como objetivo principal obter a posição na tora cujo teor de umidade equivalesse à umidade média da tora.

Logo, para obter o perfil de umidade da madeira em função do diâmetro e do comprimento da tora, primeiramente foram retirados, com o auxílio de uma motosserra, discos de 7 cm de espessura até o comprimento total da tora. De cada disco foram retiradas duas cunhas opostas, correspondendo a duas repetições por disco. Essas cunhas de madeira foram pesadas e posteriormente levadas à estufa de secagem à temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , até massa constante, para determinação do teor de umidade (Figura 2).

A umidade da madeira, base seca, foi determinada de acordo com o procedimento estabelecido pela norma da ABNT NBR 14929 (ABNT, 2013), utilizando a equação (2):

$$U\%_{BS} = \frac{(MU - MS)}{MS} \times 100 \quad (\text{eq.2})$$

em que

$U\%_{BS}$  = percentagem de umidade em base seca;

MU = massa úmida de madeira; e

MS = massa seca de madeira.

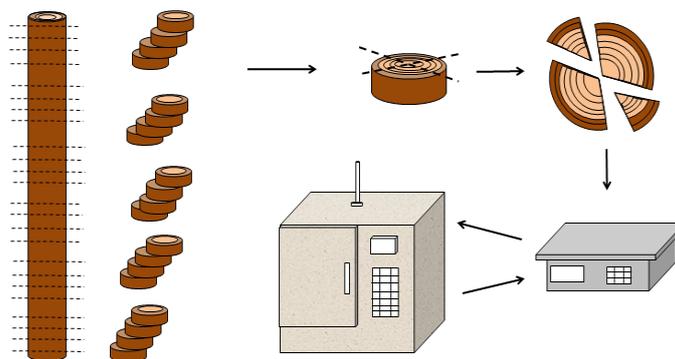


Figura 2- Esquema de retirada de corpo de prova para determinação do teor de umidade ao longo da tora de madeira.

Determinou-se, também, a umidade média aritmética de cada tora de madeira, em função dos tratamentos.

Foram utilizadas seis toras de madeira por cada classe de diâmetro e comprimento, totalizando-se 54 toras.

#### **4.2.2 Métodos de amostragem e métodos de determinação do teor de umidade da madeira em tora**

Para o estudo dos métodos de amostragem e de determinação do teor de umidade de madeira em tora, inicialmente foram retirados cinco discos de cada tora, equidistantes, de aproximadamente 7 cm de espessura cada, conforme ilustra a Figura 3. Em seguida, os discos foram descascados e deu-se início às determinações. O seu teor de umidade de cada disco foi determinado por cinco métodos.

O primeiro método utilizado para determinação do teor de umidade foi o da balança analisadora de umidade, devendo ser ressaltado que as determinações por esse método foram feitas a partir da retirada de corpos de provas na forma de serragem, com o auxílio de uma furadeira elétrica e também com um trado manual. Utilizou-se uma furadeira elétrica sem fio, à bateria, da marca Bosch e modelo GSR 12-2, com uma velocidade de rotação sem carga de 1.200 rpm, com uma broca de 7,5 mm.

A retirada da serragem pela furadeira foi feita ao introduzir sua broca no sentido radial do disco de madeira até a medula. Foram retiradas amostras de dois pontos opostos do disco, tendo, portanto, duas amostras por disco. As amostras de serragem geradas foram coletadas imediatamente e colocadas em um vidro hermeticamente fechado e, em seguida, foram pesadas e secas até massa constante, em uma Balança Determinadora de Umidade da marca OHAUS MB35 Halogen (Figura 3). Utilizou-se cerca de 0,9 grama de serragem por amostra, e cada leitura teve duração média de 4 minutos.

O mesmo procedimento foi realizado, usando trado manual (Figura 3). O trado utilizado neste experimento é um instrumento de acionamento manual, que permite acoplamento de brocas com haste compatível com encaixe das garras do mandril do trado, também conhecido como arco de pua ou furadeira manual. Para retirada da serragem da madeira utilizou-se uma broca de aço de carbono com 8 mm de diâmetro.

Depois de retirar os corpos de provas com o auxílio da furadeira e do trado manual, determinou-se também o teor de umidade da madeira a partir dos medidores elétricos do tipo resistivo e capacitivo. Por cada um desses aparelhos foram feitas quatro leituras por disco, sendo a média dessas leituras considerada o teor de umidade por cada aparelho.

O medidor elétrico resistivo utilizado neste estudo foi fabricado pela Digysystem, modelo DL 2000. As medições dos teores de umidade a partir do uso desse aparelho foram feitas, utilizando-se a curva de calibração referente à densidade média da espécie estudada. A medição da umidade da madeira foi feita com a fixação de quatro pinos metálicos, inseridos nos discos em direção paralela às fibras.

Utilizou-se um medidor elétrico capacitivo da marca Sultech, modelo TCS-75. Esse aparelho possui três sensores de medições, um potenciômetro de seleção do grupo de madeira a ser trabalhada e também um potenciômetro de zeramento, que busca eliminar interferências externas causadas por fatores como umidade relativa do ar, proximidade da mão do operador, entre outros. Para sua utilização, inicialmente foi selecionado o grupo da madeira a ser medida. Em seguida utilizou-se o potenciômetro de zeramento, procurando obter no visor o valor mais próximo deste, variando entre 0,0 a  $\pm 0,2\%$ . A partir daí colocaram-se em contato os sensores de medições do aparelho no sentido paralelo às fibras, para obter a leitura do teor de umidade.

Após executar esses quatro métodos de determinação do teor de umidade no disco, foram retiradas duas cunhas opostas de cada disco, correspondendo a duas repetições por discos, e então foi determinado o teor de umidade pelo gravimétrico da ABNT NBR 14929, conforme ilustra a Figura 3 (ABNT, 2003).

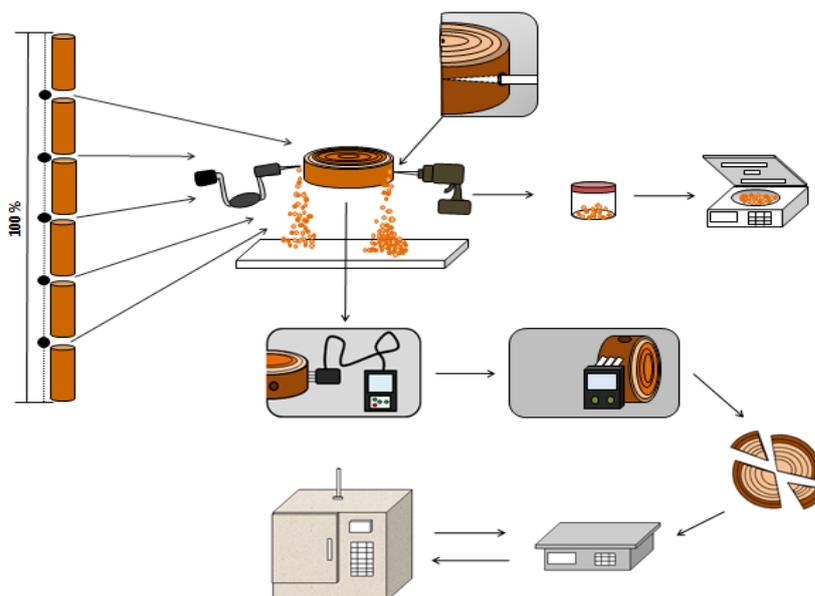


Figura 3 - Esquema representativo dos métodos de amostragem e determinação do teor de umidade da madeira em tora utilizado neste estudo.

### 4.3 Equações de correção

#### 4.3.1 Fator de correção

O fator de correção utilizado neste trabalho nada mais é do que a média da razão entre o teor de umidade real da madeira (teor de umidade determinado pelo método da ABNT) e o teor de umidade obtido pelo método alternativo, dividido pelo número de toras amostradas.

Foi estabelecido apenas um fator de correção para todos os valores obtidos para as três classes de diâmetro, pois se fosse estabelecer esse fator por classe de diâmetro teria de ser feito um fator de correção para cada classe diamétrica.

O fator de correção foi estabelecido de acordo com a equação 3:

$$\text{Fator de correção } j = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Umidade ABNT}_i / \text{Umidade Alternativa}_{ij})}{n} \quad (\text{eq. 3})$$

em que o fator de correção  $j$  é utilizado para o método alternativo  $j$ ; a umidade  $\text{ABNT}_i$  é a umidade da tora  $i$  obtida pelo método da ABNT;  $n$  é o número de toras amostradas; e a Umidade Alternativa $_{ij}$  é a umidade da tora  $i$  obtida pelo método alternativo  $j$ .

A umidade corrigida de cada tora  $i$  foi estimada pela multiplicação da umidade obtida pelo método alternativo  $j$  pelo seu fator de correção.

#### 4.3.2 Modelo de regressão

O modelo de regressão utilizado para fazer as correções teve como variável dependente o teor de umidade da madeira obtido pelo método da ABNT e como variáveis independentes, as classes de diâmetro das toras e o valor da umidade obtido pelos métodos alternativos  $j$ . O modelo utilizado é mostrado na equação 4:

$$\text{Umidade Real} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Classe de Diâmetro} + \beta_2 \cdot \text{Umidade}_i + \varepsilon \quad (\text{eq. 4})$$

Em que  $\beta_i$  são os parâmetros do modelo, e  $\varepsilon$  é o erro aleatório.

### 4.4 Análise Estatística

O experimento foi analisado segundo o delineamento inteiramente casualizado (DIC) simples. Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors, para testar a normalidade, e de Cochran, para testar a homogeneidade das variâncias.

Realizou-se a análise de variância, e quando houve efeito dos tratamentos as médias foram comparadas pelo teste Tukey, a 95% de probabilidade, com o objetivo de identificar a igualdade dos métodos para determinar a umidade média das amostras.

As equações de regressão estimadas foram comparadas por teste de identidade de modelos, segundo Regazzi (1993), para avaliar se existia igualdade das tendências de umidade ao longo das toras de mesmo comprimento, a 95% de probabilidade.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Estudo do Teor de Umidade da Madeira em Tora

#### 5.1.1. Perfil de umidade no sentido longitudinal

Na Tabela 1 estão os valores médios do teor de umidade da madeira em função da classe de diâmetro aos 60 dias de secagem ao ar livre.

Tabela 1 – Teor de umidade da madeira em tora em função da classe de diâmetro

Diâmetro da Tora (cm)	Valor Médio de Umidade (%)
10 - 12	39,51 A
14 - 16	45,02 B
18 - 20	50,74 C

\* Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey, a 95% de probabilidade.

Observa-se que para um mesmo comprimento e distintas classes de diâmetro os valores da umidade da madeira foram estatisticamente diferentes. Isso já era esperado, pois quanto menor o diâmetro maior a área de contato e menor o caminho da água a ser percorrido até a superfície da madeira, o que faz com que ela tenha menor umidade em relação às toras de maior diâmetro. Salienta-se que essa afirmação somente é válida quando as toras de madeira estão em uma mesma condição de secagem.

Alguns trabalhos vêm reforçar a afirmação de que a secagem da madeira é fortemente influenciada pela espessura ou pela distância para a movimentação da água.

Rezende (2010), em estudo sobre secagem ao ar livre de toras *Eucalyptus grandis* de 2 metros de comprimentos e diâmetros variando de  $12,8 \pm 4,0$  cm, concluiu que as toras da classe de maiores diâmetros apresentaram-se mais úmidas (28%) que as de menores diâmetros (12%), após 240 dias.

Vital *et al.* (1985), estudando a secagem ao ar livre de toras de *E. grandis*, aos 5 anos de idade, em Viçosa, MG, constataram que as toras com diâmetro superior a 12,0 cm apresentaram umidade superior a 50% após os 175 dias de secagem, enquanto as toras de menores diâmetros apresentaram umidade entre 16 e 27%.

Quanto ao efeito do comprimento da tora de madeira no teor de umidade, observa-se na Tabela 2 que as toras de menor comprimento diferiram das demais, o que evidencia mais uma vez o efeito da área superficial; para comprimentos maiores esse efeito é menor. Portanto, para tomada de decisão quanto ao uso de madeiras com 3,0 ou 4,5 m de comprimento essa informação é importante, pois quanto maior o comprimento da madeira menor é a quantidade de cortes ou traçamento que ela vai sofrer, o que reduz consideravelmente os custos.

Tabela 2 – Teor de umidade da madeira em tora em função do comprimento

<b>Comprimento da Tora (m)</b>	<b>Valor Médio de Umidade (%)</b>
1,5	43,21 <b>A</b>
3,0	46,22 <b>B</b>
4,5	45,85 <b>B</b>

\* Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey, a 95% de probabilidade.

O perfil de umidade da madeira em tora em função do comprimento e do diâmetro é apresentado na Figura 4.

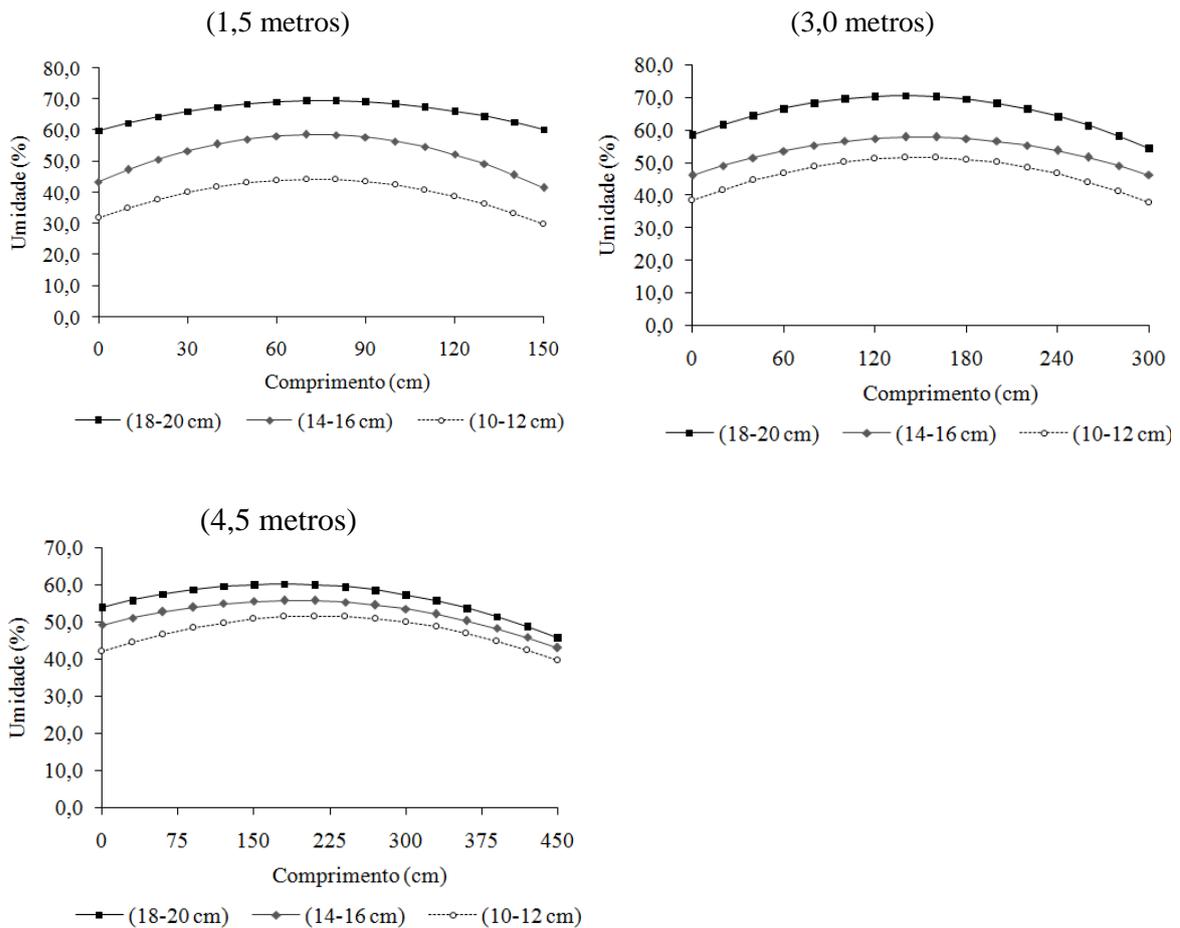


Figura 4 - Perfil de umidade da madeira em função do comprimento da tora e classe de diâmetro.

Observa-se que a umidade é maior no centro da tora e menor nas extremidades, o que evidencia que a maior perda de água da madeira acontece no sentido longitudinal, devido à maior permeabilidade neste sentido em relação ao sentido radial.

Verifica-se também o efeito conicidade, pois à medida que o comprimento da tora de madeira aumentou as curvas de teor de umidade de cada classe de diâmetro se aproximaram.

Na Tabela 5 estão os valores médios de teor de umidade da madeira em tora em função do diâmetro e do comprimento, bem como a altura (distância na tora) que representa sua umidade média.

Tabela 3 - Valores médios de umidade da madeira em tora em função do comprimento e diâmetro

Classe de Diâmetro (cm)	Umidade Média da Tora (%)	Comprimento (cm)*	Comprimento (%)*
1,5 metros			
18-20	49,89	32,6 / 118,9	21,7 / 79,3
14-16	44,32	29,4 / 116,1	19,6 / 77,4
10-12	36,41	28,9 / 115,4	19,3 / 76,9
3,0 metros			
18-20	53,70	51,0 / 226,8	17,0 / 75,6
14-16	44,67	63,9 / 236,1	21,3 / 78,7
10-12	40,29	62,4 / 234,9	20,8 / 78,3
4,5 metros			
18-20	49,61	40,5 / 333,5	9,0 / 74,1
14-16	46,07	54,0 / 324,0	12,0 / 72,0
10-12	41,84	82,4 / 342,5	18,3 / 76,1

\* Sentido base-topo.

Um dos problemas de determinar o teor de umidade da madeira em tora em campo é ter de retirar mais de um corpo de prova ao longo da tora como forma de representar o seu teor de umidade médio. Isso acarreta aumento de tempo na obtenção das análises e, conseqüentemente, elevação de custo. A determinação da distância na tora que representa sua umidade média tem grande aplicação em temas práticos, visto que se faz necessário retirar apenas um corpo de prova na secção da tora para obter o seu teor de umidade de forma que represente a sua umidade média.

Observa-se, de modo geral, que a secção na tora em que o seu teor de umidade representa a sua umidade média para as toras de 1,5 m, levando em consideração valor médio das três classes de diâmetros aqui estudadas, é de 20,2%  $\pm$  1,3 (média e desvio-padrão, respectivamente); no sentido da base da árvore e no sentido do topo essa região é em 22,13%  $\pm$  1,27 do comprimento total da tora.

O padrão de respostas das toras de 3,0 m foi semelhante ao das toras de 1,5 m, porém a distância na tora que representa a sua umidade média foi de 19,7%  $\pm$  2,35 no sentido da base e de 22,47%  $\pm$  1,69 no sentido do topo.

Já nas toras de 4,5 m o padrão de respostas no sentido da base não foi semelhante ao dos demais comprimentos, sendo a distância na tora que representa a sua umidade média de 13,1%  $\pm$  4,75 no sentido da base e de 25,93%  $\pm$  2,05 no sentido do topo.

### 5.1.2 Métodos de amostragem e métodos de determinação do teor de umidade da madeira em tora

Na Tabela 4 estão os valores médios do teor de umidade da madeira obtidos a partir de diferentes métodos de amostragem e também de determinação.

Observa-se que todos os métodos de determinação do teor de umidade utilizados neste trabalho foram significativamente diferentes. No entanto, constata-se que o método em que a balança analisadora de umidade foi utilizada, cuja amostra foi retirada com a furadeira elétrica, foi o que mais se aproximou do valor de umidade obtido pelo método gravimétrico (ABNT, 2003). Por outro lado, o valor médio obtido pelo medidor elétrico resistivo foi o mais distante, em relação ao obtido pelo método ABNT (2003).

Tabela 4 - Valores médios de teor de umidade em função dos métodos de amostragem e determinação do teor de umidade da madeira para a leitura direta

Métodos	Média	Desvio-Padrão	N	Diferença	T	df	p	Conclusão
(ABNT)	55,25	11,88	-	-	-	-	-	
<b>Leitura Direta</b>								
Furadeira	51,88	11,33	54	3,37	6,44	53	0,00	Diferente
Trado	48,64	12,39	54	6,61	7,42	53	0,00	Diferente
Capacitivo	44,59	8,41	54	10,66	6,45	53	0,00	Diferente
Resistivo	25,18	3,31	54	30,07	20,27	53	0,00	Diferente

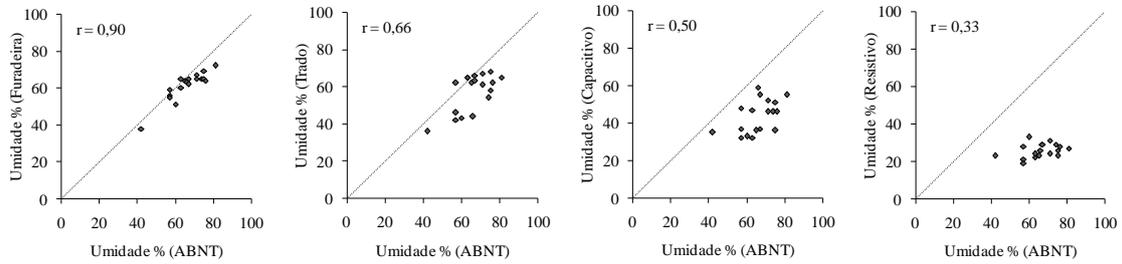
- Teste t para amostras independentes (t pareado).

Nas Figuras 5 estão as correlações existentes entre os métodos alternativos de amostragem e determinação do teor de umidade da madeira em tora e o método gravimétrico (ABNT) por classe de diâmetro (Figura 5a, 5b e 5c). Verifica-se, de modo geral, que a dispersão dos valores de umidade entre o método da ABNT (2003) e os demais tratamentos testados neste trabalho tem como característica uma correlação linear positiva.

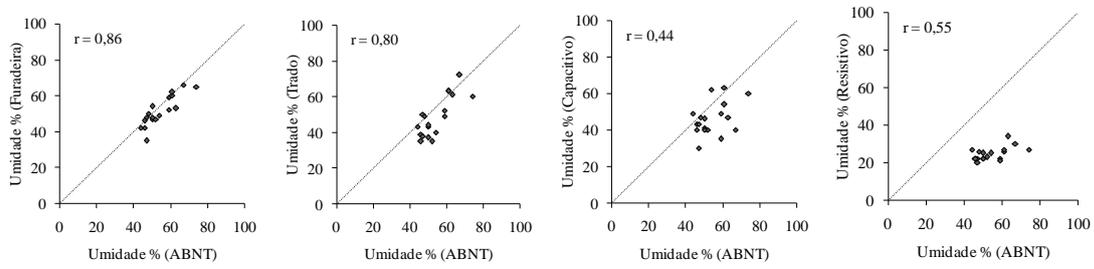
Observa-se que a correlação existente entre o método da ABNT (2003) e da balança analisadora (trado manual) foi menor, quando comparado com o método também da balança, porém obtendo as amostras com a furadeira elétrica. Era esperado que o uso do trado manual para a retirada das amostras tivesse melhor correlação com o método da ABNT, pois o número de rotação por minuto pelo trado é menor, gerando menor aquecimento na broca e, conseqüentemente, na madeira, quando comparado à furadeira elétrica. As temperaturas médias nas brocas metálicas tanto do trado quanto da furadeira foram de 69 e 80°C, respectivamente. Logo, a menor correlação é explicada,

peelo menos em parte, pelo maior tempo de contato da broca do trado manual com a madeira, fazendo com que a serragem proveniente desse método perdesse mais água.

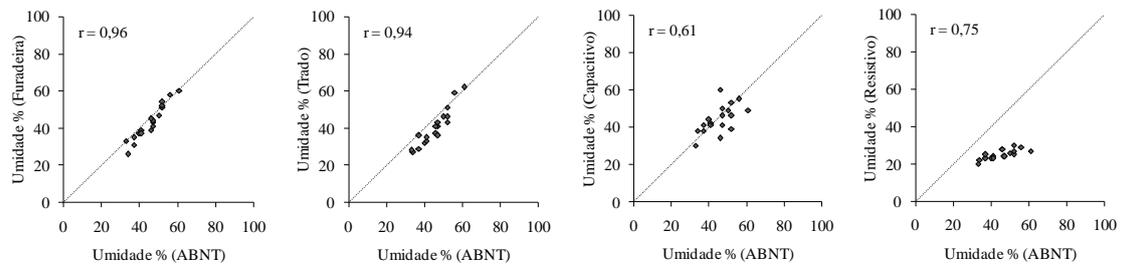
(a) Classe de diâmetro: 18-20 cm



(b) Classe de diâmetro: 14-16 cm



(c) Classe de diâmetro: 10-12 cm



(d) Correlações existentes independente da classe de diâmetro

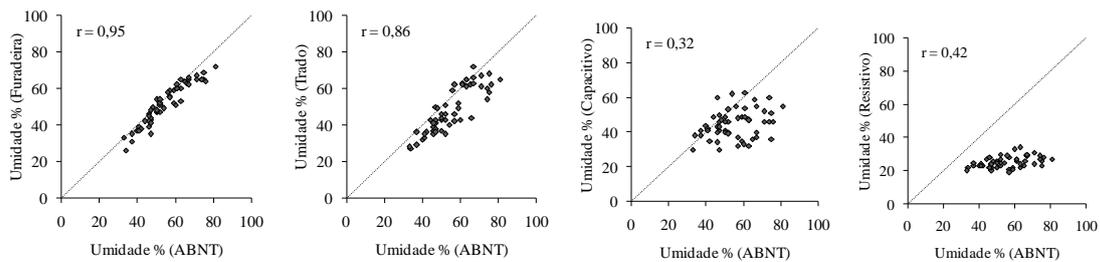


Figura 5 - Dispersão entre as estimativas de umidade de toras por diferentes métodos, comparados à metodologia da ABNT, de forma geral e por classe de diâmetro.

Chagas (2010) e Donato (2012), em estudo sobre a comparação da umidade da madeira em tora determinada pelo método da ABNT com o método da balança determinadora de umidade, retirando-se amostras com a furadeira, encontraram um padrão de resposta semelhante, em estudo realizado com o gênero *Eucalyptus sp.*, obtendo coeficiente de determinação de 0,9826 e 0,9476, respectivamente. Entretanto, tratando-se de alternativa de determinação do teor de umidade da madeira em tora utilizando uma furadeira elétrica para retirar corpos de prova, estudos ainda são raros ou não publicados.

No caso dos medidores elétricos, tanto o capacitivo como o resistivo, observa-se uma baixa correlação entre eles e o método gravimétrico da ABNT (ABNT, 2003), principalmente pela faixa de umidade da madeira em tora utilizada neste trabalho, reproduzindo valores normalmente obtidos em campo. Vale salientar que esses medidores foram desenvolvidos para ser utilizados na determinação do teor de umidade de madeira serrada, não tendo sido encontrado registro na literatura de seu uso para madeira em tora.

Rodrigues e Sales (2000), em avaliação do teor de umidade da madeira por meio da capacitância e da resistividade, obtiveram maior precisão nesse último método. Neste estudo constatou-se (Figura 5) que apesar de o medidor elétrico capacitivo ter se aproximado mais da umidade média obtida pelo método da ABNT do que o medidor resistivo, este último teve maior correlação, devido à maior homogeneidade de seus resultados.

Na Figura 5 pode-se constatar, de modo geral, que os métodos alternativos de determinação do teor de umidade da madeira para as classes de menor diâmetro tiveram melhor correlação com o método da ABNT, quando comparadas com as demais classes diamétricas. No caso do método da balança analisadora de umidade utilizando tanto a furadeira quanto o trado manual para remoção dos corpos de prova na forma de serragem, esse fato pode ser explicado, pelo menos em parte, pelo menor tempo de contato da broca com a madeira devido à sua menor espessura, uma vez que para a remoção dos corpos de prova na forma de serragem a broca foi introduzida no sentido radial da tora até a sua medula, acarretando em menor aquecimento da broca, quando comparado com o das toras de maior diâmetro, e conseqüentemente menor perda de umidade desses corpos de prova, decorrente do menor tempo de contato da broca com a madeira, fazendo com que as análises realizadas nas toras de menor diâmetro se aproximassem mais da umidade obtida pelo método da ABNT.

Em relação aos medidores elétricos, essa tendência se deve ao fato de as classes de menor diâmetro terem menor gradiente de umidade, quando comparadas com as de maior, conseqüentemente as toras de menor diâmetro tiveram menor teor umidade, e quanto mais próximo esse valor do PSF melhor são as leituras realizadas por esses aparelhos.

A dispersão dos valores das análises obtidas pelo medidor elétrico resistivo pode ser explicada pela profundidade da penetração dos sensores. Segundo Klitzke (2008) e Gann (2010), a profundidade da penetração dos sensores deve ser de aproximadamente um terço a um quarto da espessura da peça para conseguir minimizar questões relativas ao gradiente de umidade. Porém o comprimento dos sensores do aparelho utilizado neste estudo não permite fazer as leituras nessa espessura de penetração para as classes de diâmetro aqui utilizadas. Deve-se levar em consideração que esses aparelhos possuem eletrodos de forma variada, adequados para diferentes espessuras. Entretanto, quando se trabalha com madeira em tora, ao inserir os eletrodos desses aparelhos, é difícil a sua remoção, o que acarreta em dispêndio de tempo e também em dificuldade de realizar as análises. Outro fator que deve ser levado em consideração, em se tratando da utilização da madeira em tora seca ao ar livre, é que ela se encontra acima do teor de umidade que esse tipo de aparelho consegue determinar com precisão, pois de acordo com Moreschi (2005) esse aparelho determina diretamente teores de umidade compreendidos entre 6 e 25%, com precisão de aproximadamente 1,5%, dependendo de seu modelo.

A perda de precisão das estimativas de teor de umidade acima do PSF é explicada por Jankowsky (2000), que atribui à presença de água livre acima desse ponto, que apresenta resistência muito menor que a da madeira. Ressalta-se, de acordo com diversas literaturas, que suas determinações são subestimadas para teores de umidade acima do ponto de saturação das fibras (PSF), tendo maior precisão para a faixa de 10 a 30%. Isto explica os desvios crescentes à medida que o teor de umidade da madeira aumenta.

Segundo James (1998), a maioria dos medidores de umidade, quando apropriadamente utilizados, fornece uma estimativa do teor de umidade rápida e suficientemente precisa para a maioria dos casos, quando abaixo de 30% de umidade. Já Simpson (1991) ressalta que 7 % é o limite inferior para que as medidas do teor de umidade sejam válidas.

Já no caso dos medidores capacitivos, o melhor ajuste de correlação para as toras de menor classe diamétrica em relação à de maior se deve ao efeito de profundidade do campo elétrico, que apesar de não ser linear diminui logaritmicamente na zona externa em direção ao interior da madeira. Este fato implica que em madeira com umidade uniforme em toda sua espessura, ou seja, sem a presença de variação do teor de umidade entre a parte mais externa e aquela mais interna, o valor da leitura terá boa precisão. Todavia, em madeira com gradientes de umidade, no caso da madeira em tora, o valor da medição será uma estimativa, e não um valor exato, sendo necessário realizar ajustes para corrigir essa variação.

Segundo Franzoi (1997), o valor obtido pelo medidor capacitivo não indica o valor da superfície, mas sim da média do teor de umidade abrangido pelo campo elétrico.

Simpson (1991) afirma que os medidores capacitivos têm abrangência de até 19 mm de profundidade nas leituras do campo elétrico, com influência predominante da camada externa. Uma explicação para as leituras do medidor capacitivo, predominantemente abaixo do real até 15% de umidade, é a influência maior da camada externa, que durante a secagem está mais seca que a média da peça.

## 5.2 Correções para os Métodos Alternativos

### 5.2.1 Fator de correção

Na Tabela 5 estão os valores do fator de correção para cada método alternativo utilizado neste estudo.

Tabela 5 – Fatores de correção do teor de umidade da madeira em tora em função do método

Método Alternativo	Fator de Correção
Furadeira	1,0707
Trado	1,1561
Capacitivo	1,2678
Resistivo	2,2054

O valor obtido pelo fator de correção para cada método alternativo aqui testado indica que todos esses métodos subestimam o valor do teor de umidade obtido pelo método da ABNT.

Observa-se que quanto maior a precisão do método em relação ao método da ABNT mais próximo de 1 é o valor obtido pelo fator de correção. Como o método da balança analisadora de umidade utilizando a furadeira para retirada dos corpos de prova foi o que mais se aproximou do método da ABNT, ele teve um fator de correção mais próximo de 1. O valor do fator de correção obtido por esse método (1,0707) indica que ele teve uma diferença média de - 6,10% em relação ao valor obtido pelo método da ABNT.

### 5.2.2 Modelo de regressão

Na Tabela 6 estão os parâmetros e os coeficientes da regressão para os métodos alternativos de determinação do teor de umidade da madeira em tora testados neste estudo.

Tabela 6 – Coeficientes das regressões

Método Alternativo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R <sup>2</sup>	S <sub>y,x</sub>
Furadeira	1,4679	0,4774	0,8987	0,9013	3,7319
t=	0,5627	2,2715	14,6968		
Trado	6,0557	1,2042	0,6401	0,8009	5,2997
t=	1,6832	4,5129	9,0217		
Capacitivo	-5,6116	2,5998	0,4905	0,6087	7,4310
t=	-0,7659	8,3914	4,0424		
Resistivo	-13,9648	2,4385	1,2962	0,6181	7,3409
t=	-1,6120	7,9402	4,2432		

Na Figura 6 está a dispersão dos valores de umidade da madeira obtidos pelo método da ABNT, em função de cada método alternativo, em que: (a) leitura direta; (b) fator de correção; (c) regressão.

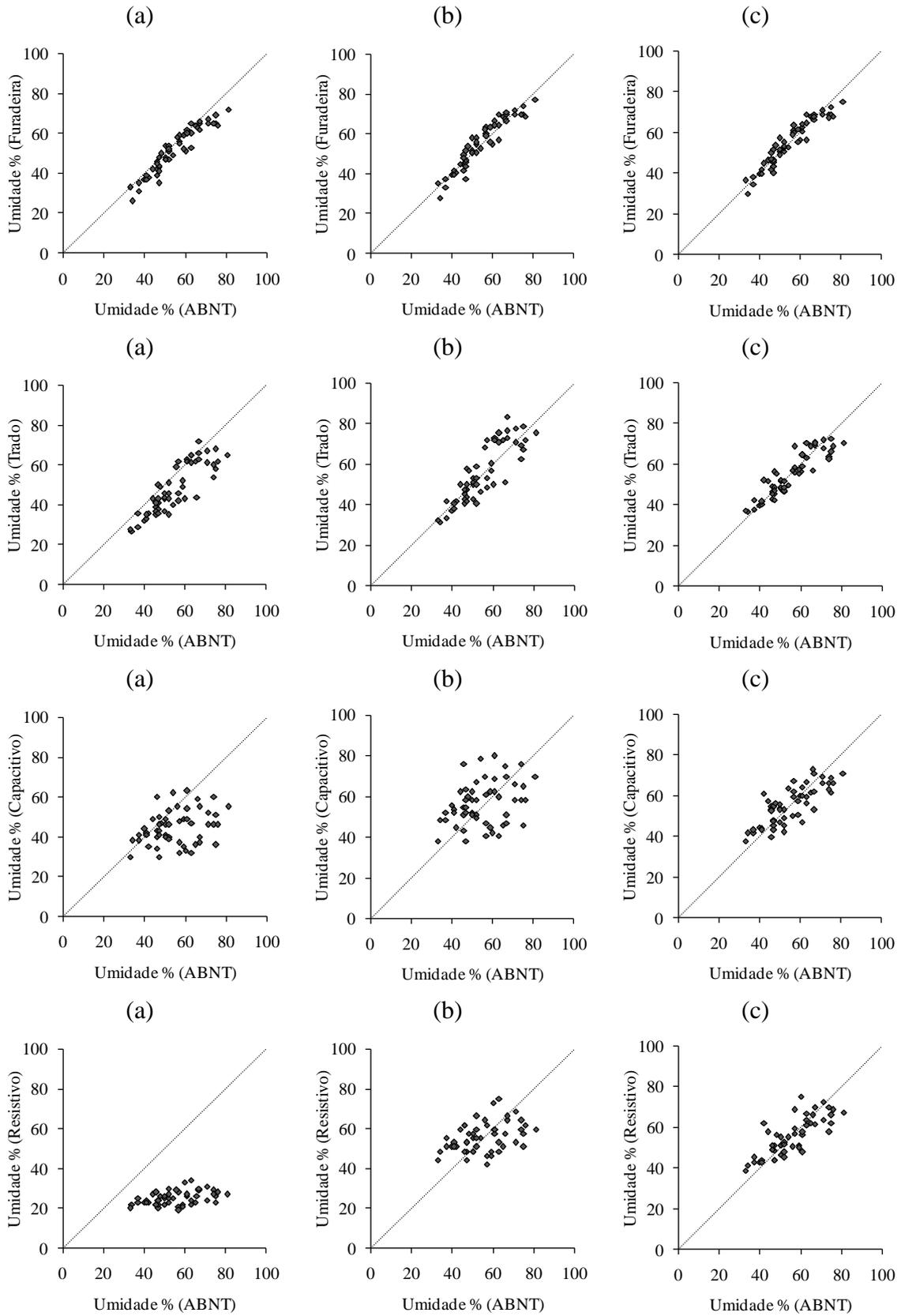


Figura 6 – Dispersão dos valores de umidade obtidos pelo método tradicional (ABNT) em função de cada método alternativo, em que (a) leitura direta; (b) fator de correção; (c) regressão.

Observa-se que tanto o fator de correção quanto o modelo de regressão tiveram bons ajustes para todos os métodos alternativos para determinação do teor de umidade da madeira em tora aqui testados, ou seja, cada método alternativo utilizado neste estudo, quando submetido a essas correções, foi estatisticamente igual ao método da ABNT (Tabela 5), devendo-se ressaltar que a correção obtida pelo modelo de regressão foi a que teve melhor ajuste, como pode ser observado na Figura 6.

Já era esperado que a correção utilizando o modelo de regressão seria mais precisa do que o fator de correção, pelo fato de o modelo de regressão, além de corrigir a diferença do teor de umidade obtida pelo método da ABNT em relação ao valor obtido pelo método alternativo, também corrigir a diferença média entre os valores obtidos pelas diferentes classes de diâmetro utilizadas neste estudo, ou seja, o modelo utiliza dois fatores de correção, que são os parâmetros da regressão ( $\beta_1$  e  $\beta_2$ ).

Tabela 5 - Valores médios de teor de umidade em função dos métodos de amostragem e determinação do teor de umidade da madeira para leitura direta, fator de correção e modelo de regressão

<b>Métodos</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio-Padrão</b>	<b>N</b>	<b>Diferença</b>	<b>t</b>	<b>df</b>	<b>p</b>	<b>Conclusão</b>
(ABNT)	55,2593	11,8802	54	-	-	-	-	
<b>Leitura Direta</b>								
Furadeira	51,8889	11,3315	54	3,3704	6,4453	53	0,0000	Diferente
Trado	48,6481	12,3977	54	6,6111	7,4252	53	0,0000	Diferente
Capacitivo	44,5926	8,4172	54	10,6667	6,4522	53	0,0000	Diferente
Resistivo	25,1852	3,3142	54	30,0741	20,2706	53	0,0000	Diferente
<b>Fator de Correção</b>								
Furadeira	55,5582	12,1328	54	-0,2989	-0,5570	53	0,5799	Iguais
Trado	56,2440	14,3335	54	-0,9847	-0,9740	53	0,3345	Iguais
Capacitivo	56,5343	10,6713	54	-1,2751	-0,7116	53	0,4798	Iguais
Resistivo	55,5426	7,3090	54	-0,2834	-0,1891	53	0,8507	Iguais
<b>Modelo de Regressão</b>								
Furadeira	55,2593	11,3021	54	0,0000	0,0000	53	1,0000	Iguais
Trado	55,2593	10,6823	54	0,0000	0,0000	53	1,0000	Iguais
Capacitivo	55,2593	9,3810	54	0,0000	0,0000	53	1,0000	Iguais
Resistivo	55,2593	9,4490	54	0,0000	0,0000	53	1,0000	Iguais

- Teste t para amostras dependentes (t pareado).

Deve-se levar em consideração que tanto o fator de correção quanto o modelo de regressão utilizados neste estudo foram feitos para o material em estudo, ou seja, ao utilizar essas correções para esses métodos alternativos em outras madeiras submetidas a diferentes condições de secagem, densidade, entre outras características inerentes da

madeira, essas correções podem vir a não ter o mesmo efeito obtido neste estudo. Ao utilizar as correções para esses métodos alternativos de determinação do teor de umidade da madeira em tora, aconselha-se realizar uma amostragem do material que irá ser trabalhado, determinar o teor de umidade real dessa amostra e, a partir daí, aplicar os ajustes (calibrar) para o método de determinação de umidade em que se deseja trabalhar.

Na literatura não há registro de trabalhos em que foram utilizados fatores de correção para os métodos aqui mencionados, para obtenção de teores de umidade da madeira em tora mais próximos aos alcançados pelo método gravimétrico da estufa preconizado pela ABNT (2003).

De modo geral, verificou-se que os métodos alternativos utilizados neste trabalho subestimaram o teor de umidade real da tora de madeira, ou seja, foram menos precisos que o método da ABNT, no entanto o uso de fatores de correções pode ser uma alternativa para minimizar o erro.

## **6. CONCLUSÕES**

- O estudo sobre o perfil de umidade da madeira em tora em função do diâmetro e do comprimento permitiu concluir que para um mesmo comprimento e distintas classes de diâmetro os valores da umidade da madeira foram estatisticamente diferentes. As toras de menor diâmetro tiveram menor gradiente de umidade, fazendo com que ela tivesse menor umidade em relação a toras de maior diâmetro. Quanto ao efeito do comprimento da tora de madeira no teor de umidade, constatou-se que as toras de menor comprimento diferiram das demais, porém para comprimentos maiores esse efeito é menor.
- A posição de retirada de corpos de prova ao longo da tora cujo teor de umidade mais se aproxima de sua umidade média para as toras de 1,5 e 3 m foram aproximadamente um quinto de suas extremidades. As toras de 4,5 m não seguiram o mesmo padrão de respostas das demais.
- De modo geral, as leituras diretas (sem fatores de correção) para determinação do teor de umidade da madeira pelos métodos alternativos, em comparação com o método da ABNT, foram estatisticamente diferentes. A determinação do teor de umidade utilizando a balança analisadora e a retirada das amostras de

serragem com o auxílio da furadeira elétrica foi que mais se aproximou do valor obtido pelo método da ABNT.

- Utilizando tanto o fator de correção quanto o modelo de regressão adotado neste estudo, constatou-se que todos os métodos alternativos de determinação do teor de umidade passaram a apresentar resultados confiáveis, sendo o modelo de regressão mais preciso que o fator de correção.
- Sendo assim, desde que se utilize um fator de correção ou um modelo de regressão, os métodos de determinação do teor de umidade da madeira testados neste estudo são adequados para determinação da umidade da madeira de maneira rápida, barata e eficiente, quando comparados ao método da ABNT.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. 2011. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2010**. Brasília, 2011. 130p.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. **Correlações entre teor de lenho tardio e densidade básica para espécies do genero *Pinus***, IPEF, Circular Técnica, nº 30, PBP/3.2.2, Piracicaba, SP, 1977. Disponível em:<<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr030.pdf>>. Acesso em 10 mar. 2010.

BATISTA, W. R.; SANTOS, J. E. G.; ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO, E. T. D.; KLAR, A. E. Calibração de um equipamento tdr (reflectometria por domínio do tempo) para a determinação da umidade da madeira de *grevillea robusta* (cunn.). **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 26, n.2, p.129-145, 2011.

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.

CARNEIRO, A. C. O. **Estimativa do Teor de Umidade da Madeira de *Eucalyptus sp* Utilizando Três Equipamentos: Estufa, Medidor elétrico e Microondas**. XII

Ebramem, Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Lavras – MG, 2010.

CASTRO, A.F.N.M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal**. 2011. 97p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**; 2ª edição, editora Edgard Blücher, 2002; p. 1 – 54; São Paulo/SP.

COTTA, A. M. G. **Qualidade do carvão vegetal para siderurgia**. Viçosa, MG: DEF/UFV, 1996.

CHAGAS, L. **Secagem da madeira para produção de carvão vegetal**. II Fórum nacional sobre carvão vegetal. Sete Lagoas- Mg, 27 a 29 de outubro de 2010.

DONATO, D. B.; CARDOSO, M. T.; CANDIDO W. L.; MAGALHÃES M. A.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O. Metodologia rápida para a determinação da umidade da madeira em tora. **Fórum Brasil sobre Biomassa e Energia**. Viçosa-Mg, 03 a 05 de outubro de 2012.

FRANZOI, L. C. N. **A Secagem da Madeira em Estufa: secagem artificial**. Bento Gonçalves, SENAI/CETEMO. 1997, 83p.

GALINA, I. C. M. **Variação da resistência elétrica em madeiras visando o grupamento de espécies**. 1997. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências/ Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GALVÃO, A. P. M. & JANKOWSKY, I. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 112p.

GANN – **Medidores elétricos de umidade de madeira**. Disponível em: <[http://www.gann.de/downloads/IN\\_HOLZFEUCHTE\\_PT.pdf](http://www.gann.de/downloads/IN_HOLZFEUCHTE_PT.pdf)> Acessado em: 28 set. 2010.

GEHAKA, 2012. DISPONIVEL EM: <<http://www.gehaka.com.br /produtos / analisadores-de-umidade>> Acessado em: 3 jul. 2013.

GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. **Moisture Relations and Physical Properties of Wood**. In: Forest Products Laboratory. Wood Handbook—Wood as an engineering material. U.S. Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Pag. 4-19.

JAMES, W.L. Electric moisture meters for wood, Madison (WI): U.S. Department of Agriculture, **Forest Service**, Forest Products Laboratory, 1988, p.17 (Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-6).

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

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

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

KLITZKE, R. J. **Curso de Secagem da Madeira** – Manual Didático. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal UFPR, 2008, 119p.

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Org.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro.** Jerônimo Monteiro, ES: Suprema Gráfica, 2007. P. 271-341.

KLITZKE, R. J. **Secagem da madeira.** Curitiba: UFPR, 2003. 98 p.

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

MARTINS, G. de A. **Estatística Geral e Aplicada**, editora Atlas, 2ª edição, 2002, p.157 – 200, São Paulo.

MELLADO, E. C. E. R. **Modelo de transferência de calor e massa na secagem de madeira serrada de *Pinus*.** 2007. 155p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2007.

MENDES, L. M.; LIMA, J.T.; CALEGÁRIO, N. Umidade de equilíbrio da madeira no planejamento de sua secagem. **Revista da Madeira**, ano 9, n. 51, p. 74-78, 2000.

METAXAS, C., MEREDITH, R. J. **Industrial microwave heating.** London: Peter Peregrinus, 1983. 357p.

MORESCHI, J. C. **Propriedades Tecnológicas da Madeira** – Manual Didático. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, 2005, 168p.

OHAUS. **Serie MB - Analisadores de umidade.** DISPONIVEL EM: ACESO EM: [http://www.proanalise.com.br/files/uploads/catalogos/Analisadores\\_de\\_Umidade\\_Serie\\_MB.pdf](http://www.proanalise.com.br/files/uploads/catalogos/Analisadores_de_Umidade_Serie_MB.pdf). 2008. Acessado em: 28 jan. 2013.

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

PEREIRA, B. L. C. **Qualidade da madeira de *eucalyptus* para a produção de carvão vegetal.** 2012. 93p. Dissertação (Mestrado em ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

OLIVEIRA T.M.V. **Amostragem não probabilística:** adequação de situações para uso e limitações de amostras por conveniência, julgamento e cotas. *Rev Adm On Line* 2001 jul/ago/set.; 2(3).

REGAZZI, A. Teste para identificar a identidade de modelos de regressão e igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. **Revista Ceres**, v. 40, n. 228, p. 176-195, 1993.

REZENDE, R. N. **Secagem de toras de clones de *Eucalyptus* empregados na produção de carvão**. 2009. 178 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RODRIGUES, W.; SALES, A. Determinação do teor de umidade da madeira por meio de medidores elétricos, In: **Anais.. VII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira São Carlos: LAMEM /EESC / USP, 2000.**

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.

SILVA, D.A.; TRUGILHO, P.F. Comportamento dimensional da madeira de cerne e alburno utilizando-se metodologia de análises de imagem submetida a diferentes temperaturas. **Revista Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 56-65, 2003.

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

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

SKAAR, C. J. **Water in wood**. Syracuse: Syracuse University, 1972. 218 p.

VALENTE,O.F. **Carbonização da madeira de eucalipto**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, no 1, p. 74-79, 1986.

Wilkinson, N. **Microwaves and wood processing**. 2004. Disponível em: <<http://www.crwood.unimelb.edu.au/docs/factsheets/microwaves.pdf>>. Acesso em: 25 agosto 2010.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010, 173 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2010.

SOARES, V. C.. **Comportamento térmico, químico e físico da madeira e do carvão de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes idades**. 2011. 108p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

STEIN, F. R. **Avaliação técnica do tempo de estocagem da madeira**. 2003. 36p. Monografia (Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação de densidade da madeira**. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p. (Boletim Técnico, 1).

VOIGTLAENDER, M.; ELEOTÉRIO, J. R.; ELEOTÉRIO E. S. R.; GOULART D. M.; LIMA M P. Precisão de Três Medidores Portáteis na Estimativa da Umidade da Madeira de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. In: **Anais...** XVIII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA, 2003, Itajaí – SC.

## CONCLUSÕES GERAIS

Os dois métodos de amostragens probabilísticas (amostragem casual simples e a amostragem casual estratificada) utilizados neste estudo, com o intuito de obter a quantidade de toras que precisam ser amostradas para que representem o teor de umidade de um lote de madeira, foram apropriados. Porém, é interessante utilizar a ACE, uma vez que a madeira em tora tem uma grande heterogeneidade em relação a suas classes de diâmetro, o que acarreta elevada variabilidade em seu teor de umidade quando essas se encontram empilhadas.

De acordo com as simulações dos resultados do número ótimo de toras a serem amostradas com base nas diferentes porcentagens do erro admissível testados neste estudo, conclui-se que é interessante trabalhar com margem de erro entre 10 e 15%, sendo essa a utilizada no setor florestal, uma vez que ao se trabalhar com o erro admissível de 5% a quantidade de toras necessárias a serem amostradas é quatro vezes a mais ao erro de 10%, aumentado proporcionalmente para os erros de 15 e 20%. Por outro lado, ao utilizar um erro de 20%, apesar do pequeno número de toras que precisam ser amostradas, as chances de não se fazer uma amostragem correta são maiores.

Em relação às comparações entre os diferentes métodos para determinar o teor de umidade da madeira em tora, constatou-se que todos eles foram estatisticamente diferentes do método da ABNT, sendo o método da balança analisadora de umidade, utilizando as amostras de serragem retiradas por meio da furadeira elétrica, o que mais se aproximou do valor obtido pelo método da ABNT.

Quando foi utilizado tanto o fator de correção quanto o modelo de regressão adotado neste estudo, todas as metodologias passaram a apresentar resultados confiáveis, tornando apta a sua utilização em substituição ao método da ABNT. O modelo de regressão teve melhor ajuste que o fator correção.

As semelhanças obtidas pelas correções, utilizando tanto o fator de correção quanto o modelo de regressão para os métodos alternativos com o valor real da umidade, evidenciam que é possível desenvolver correções de métodos alternativos para determinar a umidade da madeira em tora em substituição ao método tradicional.

Pode-se concluir também que a interferência climática como chuva, vento e sol pode comprometer a integridade do teste para todos os métodos alternativos aqui testados, diminuindo assim a sua confiança.

