

MARCELO BONAZZA

**QUANTIFICAÇÃO DENDROMÉTRICA NÃO-DESTRUTIVA E
RELAÇÕES ENTRE UNIDADES DE VOLUME SÓLIDO E
MASSA DE MADEIRA EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, na Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Dr. Jean Alberto Sampietro

**LAGES – SC
2015**

B697q

Bonazza, Marcelo

Quantificação dendrométrica não-destrutiva e relações entre unidades de volume sólido e massa de madeira em povoamentos de *Pinus taeda* L. / Marcelo Bonazza. - Lages, 2015.
176 p.: il. ; 21 cm

Orientador: Jean Alberto Sampietro

Bibliografia: p. 157-174

Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2015.

1. Quantificação florestal.
 2. Variação da massa da madeira.
 3. Cubagem de árvores em pé.
 4. Comercialização de madeira.
- I. Bonazza, Marcelo. II. Sampietro, Jean Alberto. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. IV. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título

CDD: 634.9285 - 20.ed.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do
CAV/ UDESC

MARCELO BONAZZA

**QUANTIFICAÇÃO DENDROMÉTRICA NÃO-DESTRUTIVA E RELAÇÕES
ENTRE UNIDADES DE VOLUME SÓLIDO E MASSA DE MADEIRA EM
POVOAMENTOS DE *Pinus taeda L.***

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, na Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Banca examinadora:

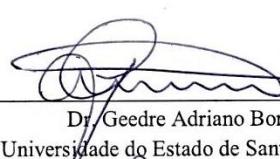
Orientador:



Dr. Jean Alberto Sampietro

Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro interno:



Dr. Geedre Adriano Borsoi

Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro externo:



Dr. Luciano Farinha Watzlawick

Universidade Estadual do Centro-Oeste

Lages, 19 de fevereiro de 2015.

À
Orlando Bonazza (*in
memorium*) e Irite Maria
Bonazza, pois me ensinaram
que o valor primário de um
homem está em sua honestidade
e o sucesso é consequência do
trabalho,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, força maior que nos rege.

À minha avó Irite, meu avô Orlando (*in memorium*), minha mãe Janete e meu tio Jusie, pelo apoio incondicional nesse período e pela educação primária, pois sem ela não alcançaria meus objetivos. Esses são e sempre serão os grandes responsáveis pela realização de meus sonhos, durante a vida.

Ao meu pai Roque, pelo incentivo e confiança a mim concedidos.

À minha companheira Alessandra, por estar sempre ao meu lado, mesmo nos momentos difíceis, amenizando-os.

Ao meu orientador Jean Alberto Sampietro, pela valiosa orientação, pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos demais professores (Nicoletti, Navroski, Geedre, André Philipe e Higuchi) pela amizade e eventuais sugestões construtivas na execução do projeto e elaboração da dissertação.

Aos amigos que se dispuseram a ajudar na coleta de dados a campo, pela disponibilidade, companheirismo e amizade (Raul, Diego, Gabriel, André e Gean).

Ao Professor Luciano Farinha Watzlawick, pelo empréstimo dos equipamentos que facilitaram as coletas dos dados a campo.

Ao Estado de Santa Catarina pela concessão da bolsa.

A todos que contribuíram de alguma forma para que mais esta etapa fosse vencida.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Tereza de Calcutá

RESUMO

A avaliação de erros oriundos de cubagens não-destrutivas assume fundamental importância, assim como o estabelecimento de relações confiáveis entre unidades de volume sólido e massa, considerando que a quantificação de madeira tem ligação direta a planejamentos eficientes nas empresas florestais. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a exatidão de estimativas volumétricas pelo método não-destrutivo englobando diferentes idades e distâncias horizontais de medição (DH) e, estabelecer relações entre unidades de volume sólido e massa analisando diferentes idades, sortimentos e tempos de estocagem em povoamentos de *Pinus taeda* L.. Os experimentos foram conduzidos no município de Ponte Alta do Norte – SC. As cubagens não-destrutivas foram realizadas utilizando o dendrômetro Criterion RD1000, sendo que as mesmas foram comparadas ao método destrutivo e xiometria dos fustes. O método empregado em ambas às cubagens foi o de Hohenadl 10 seções, em povoamentos de 13 e 21 anos de idade, considerando três DH's (10; 14 e 18 m). Os resultados foram avaliados ao nível de erros absolutos e relativos médios, tomando-se como referência os valores da xiometria. No estudo das relações entre unidades de volume sólido e massa foram considerados povoamentos de nove e 21 anos de idade, sendo que na primeira idade tinham-se sortimentos na ponta fina de 8 – 18 cm (S1) e 18 – 24 cm (S2), já na segunda, além desses, existiam mais dois sortimentos, 24 – 35 cm (S3) e acima de 35 cm (S4). O experimento foi analisado no delineamento em blocos ao acaso, considerando o esquema fatorial, com três repetições, sendo cada uma dessas, composta por cinco toras. As mesmas foram cubadas (método de Smalian) e pesadas, aos 0; 7; 14; 21; 28; 60 e 90 dias de estocagem a céu aberto. As diferenças estatísticas foram avaliadas segundo análise de variância.

seguidas do teste de Scott-Knott para idade e sortimento e, análise de regressão para tempo de estocagem. As estimativas volumétricas por meio das cubagens não-destrutivas demonstram resultados satisfatórios em todas as DH's estudadas na idade 21 anos. Enquanto na idade de 13 anos observa-se que apenas a DH de 18 m apresentou resultados similares à cubagem destrutiva, demonstrando erros médios de superestimativa de 1,32% superior à mesma. As relações entre volume sólido e massa apresentaram-se diferentes estatisticamente quando se consideraram sortimentos e idades, existindo ainda, interação entre esses fatores. Para o tempo de estocagem, observaram-se diferenças nos caso dos S1 e S2 em ambas as idades, enquanto para S3 e S4 na idade de 21 anos não foram observadas variações significativas. Desta forma, pode-se concluir que as estimativas não-destrutivas se mostraram promissoras, atingindo erros aceitáveis, principalmente na DH de 18 m em ambas as idades e, a adoção de fatores de conversão médios entre unidades de volume sólido e massa por parte das empresas florestais, pode acarretar em erros nas estimativas, sendo que os mesmos apresentaram diferenças a nível de idade, sortimento e tempo de estocagem.

Palavras-chave: Quantificação Florestal. Variação da massa da madeira. Cubagem de árvores em pé. Comercialização de madeira.

ABSTRACT

Evaluation of errors from non-destructive volumetric estimates takes fundamental importance, as well as the establishment of trusted relations between solid volume and mass units, whereas the wood quantification is directly linked to efficient planning in forestry companies. This way, the aim of this study was to evaluate the accuracy of volumetric estimates by the non-destructive method comprising different ages and horizontal distance measurement (HD) and, establish relations between solid volume and mass units considering different ages, assortments and storage time in stands of *Pinus taeda* L.. The experiments were conducted in the municipality of Ponte Alta do Norte - SC. The non-destructive measurements were performed using dendrometer Criterion RD1000, and they were compared to the destructive and xylometer methods. The method used in both volumetric estimates was Hohenadl with 10 sections, in stands of 13 and 21 years old, considering three HD's (10; 14 and 18 m). The results were assessed at the level of mean absolute and relative errors, taking as reference the xylometer values. In the study of relations between solid volume and mass units were considered stands of nine and 21 years old, where in the first age had assortments in fine point of 8 - 18 cm (S1) and 18 - 24 cm (S2), while in the second, in addition of these, there were two more assortments, 24 - 35 cm (S3) and above 35 cm (S4). The experiment was conducted in a randomized block experimental design, considering the a factorial scheme with three replications, each of these being composed of five logs. The logs had their estimated volume (Smalian method) and heavy, at 0; 7; 14; 21; 28; 60 and 90 days of storage in the open. Statistical differences were evaluated according to analysis of variance followed of Scott-Knott test for factors age and assortment and regression analysis to storage time. The volumetric estimates through non-

destructive volumetric estimates demonstrate satisfactory results in all HD's studied at age 21 years. While in the age of 13 years it's observed that only the HD of 18 m showed similar results with destructive volumetric estimate, demonstrating overestimation mean errors of 1.32% above the same. Relations between solid volume and mass presented statistical differences when considering assortments and ages, and there is, interaction between these factors. For the storage time, there were differences in the case of S1 and S2 at both ages, whereas for S3 and S4 at the age of 21 years significant changes weren't observed. Thus, it can be concluded that the non-destructive estimates proved promising, reaching acceptable errors, especially in the HD of 18 m at both ages and, the adoption of mean conversion's factors of solid volume and mass units by the forestry companies, can lead to large errors in estimates, when they showed differences in age, assortment and storage time.

Keywords: Forest Quantification. Wood mass variation. Volumetric estimates of standing trees. Wood marketing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Xilômetro utilizado no estudo. Sendo: A: leitor das medidas efetuadas no xilômetro. B: xilômetro em funcionamento a campo..... 75
- Figura 2 – Dendrômetro Criterion RD1000 utilizado para medições dos diâmetros em diferentes posições do fuste. 76
- Figura 3 – Erros relativos (%) para medição em altura total com a utilização de hipsômetro Vertex IV em relação às alturas das árvores (m) obtidas pelo método destrutivo. Onde: linha sólida assinala erros relativos iguais a zero e linhas pontilhadas demarcam a área em que os erros relativos são menores ou iguais a 5%..... 80
- Figura 4 – Erro absoluto do diâmetro (cm) em relação à posição da medida do mesmo no fuste (m). Onde: linhas pontilhadas demarcam erros absolutos menores ou iguais a 1 cm. 82
- Figura 5 – Erro relativo dos diâmetros (%) em relação ao diâmetro tomado com a sutá, considerando as diferentes distâncias horizontais de medição de 10, 14, 18 m. Onde: linha sólida assinala erros relativos iguais a zero e linhas pontilhadas demarcam a área em que os erros relativos são menores ou iguais a 10%..... 84
- Figura 6 – Erro absoluto dos volumes por seção (m^3) em relação à posição relativa de medição no fuste. ... 89
- Figura 7 – Erro relativo dos volumes acumulados por seção (%) em relação à posição relativa de medição no fuste (%). Onde: linhas pontilhadas demarcam erros relativos menores ou iguais a 10%..... 93
- Figura 8 – Erro relativo dos volumes individuais (%) obtidos pela cubagem rigorosa destrutiva comparada ao

método de xilometria, em relação ao DAP das árvores, para as idades de 13 e 21 anos. Onde: linha sólida assinala erros absolutos iguais a zero e linhas pontilhadas demarcam a área em que os erros relativos são menores ou iguais a 10%..... 95

Figura 9 – Erro relativo dos volumes individuais (%) obtidos pela cubagem rigorosa não-destrutiva, em relação ao DAP das árvores. Onde: linhas pontilhadas demarcam a área em que os erros relativos são menores ou iguais a 10%..... 97

Figura 10 – Gráfico boxplot obtido por meio das simulações do método Bootstrap demostrando a distribuição dos volumes individuais, considerando os métodos da xilometria (Xilômetro), cubagem destrutiva (Suta) e cubagem não-destrutiva com Criterion RD1000 na distância horizontal de 10 m (Crit.10m), 14 m (Crit.14m) e 18 m (Crit.18m). Onde: linhas sólidas são a média do volume individual (m^3 ind-1) obtido pela xilometria dos fustes (volume real)... 99

Figura 11 – Curvas obtidas por meio da reamostragem pelo método de Bootstrap para a idade de 13 anos representando o volume por hectare (m^3 ha-1), fornecidos pelo método do xilômetro (linha preta); cubagem destrutiva (linha azul); cubagem não-destrutiva nas DH = 10 m (linha verde), DH = 14 m (linha amarela) e DH = 18 m (linha vermelha).. 102

Figura 12 – Curvas obtidas por meio da reamostragem pelo método de Bootstrap para a idade de 21 anos representando o volume por hectare (m^3 ha-1), fornecidos pelo método do xilômetro (linha preta); cubagem destrutiva (linha azul); cubagem não-destrutiva nas DH = 10 m (linha verde), DH = 14 m (linha amarela) e DH = 18 m (linha vermelha).. 103

Figura 13 – Toras utilizadas no experimento, no município de Ponte Alta do Norte – SC. Onde: A: marcação da

- posição de medição de diâmetros; B: placa metálica para identificação da tora. 113
- Figura 14 – A: Reprodução fotográfica da área do experimento.
B: Pesagem de tora com o auxílio de balança digital e talha elétrica suspensa por quadripé. 114
- Figura 15 – Variação do teor de água das pilhas de madeira em função do tempo de estocagem para os sortimentos 1 e 2, na idade de nove anos. Onde TAA: teor de água atual da madeira e TE: tempo de estocagem da madeira. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5% de significância entre os sortimentos; **significativo ao nível de 1% de significância; *significativo ao nível de 5% de significância..... 129
- Figura 16 – Variação do teor de água das pilhas de madeira em função do tempo de estocagem para S1, S2, S3 e S4, na idade de 21 anos. Onde TAA: teor de água atual da madeira e TE: tempo de estocagem da madeira. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5% de significância entre os sortimentos; ** significativo ao nível de 1% de significância; *significativo ao nível de 5% de significância..... 130
- Figura 17 – Variação fatores de conversão de volume sólido para massa (Fcv-m) de madeira em função do tempo de estocagem para S1 e S2, na idade de nove anos. Onde: **significativo ao nível de 1% de significância pela análise de regressão. 139
- Figura 18 – Variação fatores de conversão de volume sólido para massa (Fcv-m) de madeira em função do tempo de estocagem para os S1, S2, S3 e S4, na idade de 21 anos. Onde: **significativo ao nível de 1% de significância pela análise de regressão e não significativo ao nível de 5% pela análise de regressão. 141

- Figura 19 – Variações ao longo do período de estocagem para as variáveis ambientais e Fcv-m nas diferentes idades e sortimentos. Sendo as temperaturas referentes a quatro dias retroativos as medições e a precipitação referente a dois dias retroativos as medições..... 145
- Figura 20 – Erros relativos médios das estimativas (%) em função do tempo de estocagem da madeira, para diferentes idades e sortimentos. Onde: TE: tempo de estocagem (dias). 149

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Fatores de conversão entre unidades de volume e massa na empresa Pisa Florestal no ano de 1997. Onde DAP: diâmetro medido 1,3 metros acima do solo; m³: metro cúbico; t: tonelada. 67
- Tabela 2 – Resumo dos dados de diâmetro à altura do peito, altura total e volume total por indivíduo para duas idades de *Pinus taeda* L. Onde: mín, méd e máx representam respectivamente, os valores mínimos, médios e máximos de cada variável de interesse observada nas duas diferentes idades. 79
- Tabela 3 – Erro absoluto médio (cm) (\pm desvio padrão) e erro relativo médio (%) (\pm desvio padrão) para as idades de 13 e 21 anos, nas distâncias horizontais de medição de 10, 14, 18 m, considerando a árvore inteira e 75% do fuste da mesma. Onde: I é a idade em anos; DH é a distância horizontal de medição (m); EAd é o erro absoluto médio dos diâmetros ao longo do fuste (cm); ERd: erro relativo médio dos diâmetros ao longo do fuste (%). 85
- Tabela 4 – Erros absoluto e relativo médios (\pm desvio padrão) da cubagem não-destrutiva em relação à xilometria dos fustes. 96
- Tabela 5 – Análise de variância (ANOVA) para os tempos gastos na cubagem não-destrutiva no esquema fatorial, considerando os fatores idade (13 e 21 anos) e DH (10, 14 e 18 m). Onde: ** significativo ao nível de 1% de significância; ns não significativo ao nível de 5% de significância. 105
- Tabela 6 – Teste de médias de Tukey para a comparação dos tempos gastos nas cubagens não-destrutivas nas idades de 13 e 21 anos. Onde: médias seguidas de

letras diferentes diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.....	105
Tabela 7 – Idades e respectivos sortimentos na ponta fina das toras utilizados no experimento.....	112
Tabela 8 – Variáveis climáticas coletadas consideradas no estudo, obtidas na estação meteorológica da empresa no município de Ponte Alta do Norte – SC.....	118
Tabela 9 – Análise de variância (ANOVA) para massa específica básica da madeira no esquema fatorial, considerando os fatores idade e sortimentos. Onde: **significativo ao nível de 1% de significância; *significativo ao nível de 5% de significância; não significativo ao nível de 5% de significância.	121
Tabela 10 – Teste de médias de Scott-Knott para massa específica básica da madeira (\pm desvio padrão), considerando as idades de nove e 21 anos. Níveis do fator com médias seguidas de letras desiguais diferem estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância.....	122
Tabela 11 – Teste de médias de Scott-Knott para massa específica básica da madeira (\pm desvio padrão) nas idades de nove e 21 anos. Níveis do fator nas colunas com médias seguidas de letras desiguais diferem estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância.....	123
Tabela 12 – Análise de variância (ANOVA) para teor de água inicial da madeira no esquema fatorial, considerando os fatores idade e sortimentos. Onde: **significativo ao nível de 1% de significância; não significativo ao nível de 5% de significância.	126
Tabela 13 – Teste de médias de Scott-Knott para teor de água inicial da madeira (\pm desvio padrão), considerando	

as idades de nove e 21 anos. Níveis do fator com médias seguidas de letras desiguais diferem estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância.....	127
Tabela 14 – Teste de médias de Scott-Knott para teor de água inicial (\pm desvio padrão) nas idades de nove e 21 anos. Níveis do fator nas colunas com médias seguidas de letras desiguais diferem estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância.....	127
Tabela 15 – Teste de médias de Scott-Knott para teor de água atual da madeira na idade de nove anos, para S1 e S2. Níveis do fator nas colunas com médias seguidas de letras desiguais diferem estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância. Onde: Δ é a variação do teor de água da madeira em dado período de tempo.....	131
Tabela 16 – Teste de médias de Scott-Knott para teor de água atual da madeira na idade de 21 anos, para S1, S2, S3 e S4. Níveis do fator nas colunas com médias seguidas de letras desiguais diferem estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância. Onde: Δ é a variação do teor de água da madeira em dado período de tempo.....	132
Tabela 17 – Análise de variância (ANOVA) para fatores de conversão de volume sólido para massa (Fcv-m) da madeira no esquema fatorial, considerando os fatores idade, sortimentos e tempo de estocagem. Onde: **significativo ao nível de 1% de significância; nsnão significativo ao nível de 5% de significância.....	136
Tabela 18 – Teste de médias de Scott-Knott para fatores de conversão de volume sólido para massa (Fcv-m) (t.m-3) nas idades de nove e 21 anos, considerando apenas S1 e S2. Onde: médias seguidas de mesma	

letra não diferem estatisticamente entre si, considerando letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.	137
Tabela 19 – Fatores de conversão entre unidades de volume sólido e massa (Fcv-m) para a idade de nove anos, considerando S1 e S2, em diferentes períodos de estocagem. Onde: Δ é a variação (%) nos Fcv-m para cada período de estocagem.	140
Tabela 20 – Fatores de conversão entre unidades de volume sólido e massa (Fcv-m) para a idade de 21 anos, considerando S1 e S2, em diferentes períodos de estocagem. Onde: Δ é a variação (%) nos Fcv-m para cada período de estocagem.	142
Tabela 21 – Resultados da correlação de Pearson entre variáveis ambientais e fatores de conversão entre unidades de volume sólido e massa (Fcv-m) em diferentes períodos de estocagem. Consideraram-se significativas correlações com $p < 0,10$	144
Tabela 22 – Matriz de carregamento para análise multivariada fatorial considerando a distribuição em cada fator das variáveis: idade, sortimento, tempo de estocagem, variáveis ambientais, massa específica e teor de água inicial da madeira. Onde: valores em negrito são os carregamentos fatoriais com valores acima de 0,70.	146
Tabela 23 – Equação ajustada para a estimativa dos Fcv-m em função de variáveis ambientais e da madeira, por meio do procedimento stepwise, com respectivas estatísticas de ajuste e precisão. Onde: **significativo ao nível de 1% de probabilidade; **significativo ao nível de 10% de probabilidade; R^2 aj. é o coeficiente de determinação ajustado e Syx é o erro padrão da estimativa.	148

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de variância
BRACELPA	Associação Brasileira de Celulose e Papel
COPANT	Comission Panamericana de Normas Técnicas
DAP	Diâmetro a altura do peito
DH	Distância horizontal de medição entre o medidor e a árvore a ser medida
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
F _{c_{v-m}}	Fatores de conversão de volume sólido para massa de madeira ($t\ m^{-3}$)
IMA	Incremento Médio Anual
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial
MLG	Modelo linear generalizado
S1	Toras com diâmetro na ponta fina variando de 8 a 18 cm
S2	Toras com diâmetro na ponta fina variando de 18 a 24 cm
S3	Toras com diâmetro na ponta fina variando de 24 a 35 cm
S4	Toras com diâmetro na ponta fina maior que 35 cm
SC	Estado de Santa Catarina
SI	Sistema Internacional de unidades e medidas
UTM	Sistema de coordenadas cartesianas Universal Transversa de Mercator
VIM	<i>International Vocabulary of Metrology</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

$\%$	Porcentagem
\overline{EA}_d	Erro absoluto médio dos diâmetros ao longo do fuste (cm)
\overline{ER}_d	Erro relativo médio dos diâmetros ao longo do fuste (%)
TA_a	Teor de água atual da madeira em dado período de tempo (%)
m_a	Massa atual da tora (kg)
m_i	Massa inicial da tora (kg)
$^{\circ}\text{C}$	Graus Célsius
cm	Centímetros
d	Diâmetro em diferentes posições do fuste
EA_i	Erro absoluto em diâmetro (cm) ou volume (m^3) para a i-ésima árvore
ER_i	Erro relativo do diâmetro ou volume da i-ésima árvore (%)
g_i	Área transversal (m^2)
g	Gramas
g cm^{-3}	Gramas por centímetro cúbico
h	Altura total (m)
há	Hectare
I	Idade
ind. ha^{-1}	Indivíduos por hectare
Kg	Quilograma
m	Massa (t)
m	Metros
$m_{0\%}$	Massa das cunhas de madeira a 0% de umidade (g)
m^2	Metros quadrados
m^3	Metros cúbicos
$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	Metros cúbicos por hectare
$\text{m}^3 \text{ind.}^{-1}$	Metros cúbicos por indivíduo

mm	Milímetros
m_s	Massa seca da madeira (g)
m_u	Massa úmida da madeira (g)
n	Número de observações
s	Segundos
t	Tonelada
TA_i	Teor de água inicial da madeira (%)
v	Volume individual (m^3)
$vs_{atulado}$	Volume das cunhas de madeira saturadas em água (cm^3)
$x_{est\ i}$	Valor estimado para diâmetro (cm) ou volume (m^3)
$x_{ref\ i}$	Valor de referência obtido para o diâmetro (cm) ou volume (m^3) para a i-ésima árvore
Δ	Variação de determinada variável em dado período de tempo
ρ	Massa específica básica (g cm^{-3})

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	47
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	51
2.1	O GÊNERO <i>Pinus</i>	51
2.1.1	Origem e evolução de plantios das principais espécies no Brasil	51
2.2	MÉTODOS PARA OBTENÇÃO DO VOLUME DA MADEIRA	54
2.2.1	Xilometria e cubagem rigorosa destrutiva.....	56
2.2.2	Cubagem rigorosa não-destrutiva e dendrômetros ópticos.....	58
2.3	FATORES DE CONVERSÃO PARA UNIDADES DE VOLUME SÓLIDO E MASSA DE MADEIRA.....	63
2.3.1	Histórico, conceitos e definições.....	63
2.3.2	Relações entre volume sólido e massa de madeira e fatores influentes	65
3	CAPÍTULO I – EXATIDÃO DE ESTIMATIVAS VOLUMÉTRICAS NÃO-DESTRUTIVAS EM POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> L.	69
3.1	INTRODUÇÃO	69
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	72
3.2.1	Localização e caracterização da área de estudo ...	72
3.2.2	Coleta de dados.....	73
3.2.2.1	Descrição do dendrômetro Criterion RD1000	75
3.2.3	Análise dos dados	76
3.2.3.1	Cálculo dos erros individuais	77

3.2.3.2	Erro dos volumes individuais e por hectare	77
3.2.3.3	Tempos de medição na cubagem não-destrutiva	78
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	79
3.3.1	Dados dendrométricos descritivos	79
3.3.2	Análise dos erros de medição da altura total dos indivíduos	79
3.3.3	Análise dos erros do diâmetro ao longo do tronco	81
3.3.4	Erros no volume por seção e acumulado	88
3.3.5	Erros do volume individual das árvores	94
3.3.6	Erros do volume por unidade de área	101
3.3.7	Análise dos tempos gastos nas cubagens não-destrutivas	104
3.4	CONCLUSÕES	106
4	CAPÍTULO II - FATORES DE CONVERSÃO ENTRE UNIDADES DE VOLUME SÓLIDO E MASSA PARA POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> L. EM DIFERENTES IDADES, SORTIMENTOS E PERÍODOS DE ESTOCAGEM	109
4.1	INTRODUÇÃO	109
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	111
4.2.1	Localização e caracterização da área de estudo	111
4.2.2	Instalação do experimento e coleta de dados	112
4.2.3	Teor de água inicial e atual da madeira	115
4.2.4	Massa específica básica da madeira	116
4.2.5	Dados meteorológicos	117
4.2.6	Análises estatísticas	118

4.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	121
4.3.1	Massa específica básica da madeira	121
4.3.2	Teor de água inicial e variação do teor de água ao longo do tempo.....	126
4.3.3	Fatores de conversão de volume sólido e massa .	135
4.3.3.1	Relações entre variáveis climáticas, tempo de estocagem e fatores de conversão	143
4.4	CONCLUSÕES	150
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	153
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	157
	APÊNDICES.....	175

1 INTRODUÇÃO GERAL

A quantificação volumétrica em florestas assume papel fundamental no controle dos estoques, acompanhamento do crescimento, planejamento da produção, elaboração de planos de manejo, comercialização da matéria prima bruta, escoamento da produção, bem como, na adequação de equipamentos para o processamento da madeira.

Para a estimativa do volume de madeira em determinada área, é necessário que sejam realizadas cubagens, as quais determinam os volumes estimados de cada fuste. Os volumes individuais de fustes em povoamentos equiâneos, normalmente são determinados através da metodologia destrutiva, a qual é realizada por meio de medições das seções da árvore derrubada, tendo-se com a soma das seções a estimativa do volume total e/ou comercial da árvore. Porém, com o avanço tecnológico, equipamentos ópticos foram criados com a finalidade de possibilitar medições de diâmetros das árvores em diferentes alturas, não necessitando da derrubada das mesmas, permitindo a estimativa de volumes de madeira de maneira não-destrutiva.

Dessa forma, a metodologia não-destrutiva surge como alternativa para redução dos custos de inventários florestais, uma vez que os mesmos são fortemente influenciados por atividades de cubagens rigorosas dos fustes. Com o uso de tal metodologia, as atividades de cubagem podem ser realizadas simultaneamente às medições das demais variáveis mensuradas no inventário florestal, diminuindo o dispêndio de tempo e a perda de árvores devido à derrubada das mesmas.

Na literatura são escassos trabalhos que testem a exatidão de dendrômetros ópticos na estimativa do volume individual de fustes, por isso, torna-se imprescindível a avaliação da precisão da metodologia não-destrutiva na cubagem de árvores, considerando, que para a realização de inventários florestais buscam-se metodologias de campo

simples, econômicas e que atendam as precisões mínimas desejadas.

Não obstante, a quantificação da madeira para comercialização também assume papel diferenciado, já que a mesma está diretamente ligada às relações comerciais, como pagamento de serviços, planejamento operacional, venda e manutenção de estoques. Essa quantificação se dava tradicionalmente por meio de medidas de madeira empilhada (estéreo), porém principalmente nas últimas décadas, as empresas tem adotado a pesagem da madeira para comercialização, utilizando unidades de massa (kg ou t). O emprego de tal metodologia evita a mensuração individualizada dos toretes, o que resulta em economia de tempo e mão-de-obra.

Contudo, muitas vezes nas empresas que utilizam este sistema de comercialização, são necessárias estimativas de massa referente a povoamentos ainda em pé, que servirão como base para o planejamento e controle de estoque das mesmas. Essa conversão é possível através da estimativa de fatores de conversão entre unidades de volume sólido e massa, sendo estes, dados pela razão entre o volume e a massa (ou vice-versa) de determinada quantidade de madeira.

A adoção de fatores de conversão médios de volume sólido e massa é frequentemente utilizada pelas empresas florestais, sendo que estas normalmente consideram que uma tonelada de madeira seja o equivalente a um metro cúbico da mesma. Tal fato pode acarretar em erros grosseiros no ato de comercialização da mesma, provocando alterações não previstas no fluxo de caixa de empresas que comercializam madeira, assim como de seus clientes.

Como o empilhamento e deposição da madeira a céu aberto são realidades no processo de produção industrial, outro fato a se considerar, é que a madeira após o corte pode perder ou ganhar quantidades consideráveis de água e, consequentemente, sofrer variações na sua massa. Entretanto, a

variação dimensional não se dá de forma diretamente proporcional à perda ou ganho de umidade, sendo significativa apenas para umidades abaixo do ponto de saturação das fibras (28%) (REZENDE, 2003).

Nessa conjuntura, isso acarreta em mudanças nas relações entre massa e volume sólido. Essa variação na massa da madeira ao ser estocada é geradora de dúvidas e discussões acerca da determinação de fatores de conversão para transformação do volume sólido e massa, portanto estudos que determinem o comportamento dessas relações considerando diferentes períodos de estocagem da madeira, sortimentos e idades dos povoamentos são pertinentes, podendo gerar o subsídio necessário para que a comercialização da madeira ocorra de forma justa, tanto para vendedores, quanto para compradores de madeira.

Desta forma, o presente trabalho é dividido em dois capítulos, sendo o primeiro referente à precisão de dendrômetros ópticos na estimativa volumétrica de árvores em pé e o segundo relacionado à determinação de fatores de conversão entre unidades de volume e massa em diferentes idades, sortimentos e períodos de estocagem da madeira a céu aberto, em povoamentos de *Pinus taeda* L..

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O GÊNERO *Pinus*

2.1.1 Origem e evolução de plantios das principais espécies no Brasil

O gênero *Pinus*, pertence à família Pinaceae e engloba mais de 100 espécies com grande potencial a ser explorado (AGUIAR et al., 2011). O mesmo foi introduzido no Brasil há mais de um século com finalidade ornamental por imigrantes europeus, tendo-se no ano de 1906 os primeiros resultados publicados referentes aos plantios experimentais pioneiros no país, por Löfgren, primeiro diretor do Instituto Florestal de São Paulo (KRONKA et al., 2005).

Várias espécies do gênero foram introduzidas no Brasil, sendo classificadas em dois grupos: *Pinus* subtropicais e *Pinus* tropicais. As espécies subtropicais correspondem ao *Pinus elliottii* var. *elliottii*, *Pinus elliottii* var. *densa*, *Pinus taeda* e *Pinus patula*. Enquanto as tropicais são *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus kesiya*, *Pinus oocarpa*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus strobus* var. *chiapensis* e *Pinus tecunumanii* (KRONKA et al., 2005).

Os primeiros estudos referentes aos *Pinus* subtropicais são datados em 1936, quando sementes de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* foram introduzidas no país pelo Instituto Florestal de São Paulo. Ambas as espécies se destacaram pela facilidade nos tratos culturais, rápido crescimento e reprodução intensa no Sul e Sudeste do Brasil (BRACELPA, 2014).

O estímulo aos plantios de pinus e eucalipto ganhou ênfase na década de 60 por meio de incentivos fiscais, já que os mesmos são espécies de rápido crescimento e com grande potencial industrial. Esta medida é justificada pela desordenada exploração de madeiras nobres até a década de 70 que chamou

a atenção da população, do governo e de organizações internacionais que buscavam abastecer a demanda de madeira e reduzir a devastação das florestas nativas (BARROS, 2006). Nas décadas de 1970 e 1980 as plantações deste gênero foram as principais fontes de matéria-prima para o desenvolvimento da indústria florestal brasileira, abastecendo um mercado bastante diversificado (AGUIAR et al., 2011).

Na atualidade a distribuição dos plantios de pinus no Brasil divide-se em duas principais grandes zonas: as regiões de clima temperado e a de clima tropical e subtropical. A primeira zona, onde se tem a predominância de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, abrange principalmente a Região Sul e parte do Sudeste do Estado de São Paulo. As duas espécies apresentam resistência à geada e alta produtividade nas regiões onde são plantadas, que incluem, os planaltos da Região Sul até o norte do Paraná, com *Pinus taeda* e, a Região Sul (como um todo) e parte do Sudeste (Estado de São Paulo e regiões serranas do sul de Minas Gerais) com plantios de *Pinus elliottii*. A segunda zona abrange uma área maior, onde se encontram os plantios das espécies subtropicais e tropicais, como *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis*, *P. oocarpa*, *P. maximinoi*, *P. tecunumanii*, *P. kesiya* e *P. patula*. Estas áreas são caracterizadas pela inexistência de geadas, estando sujeitas a um período de deficiência hídrica e mostrando um grande potencial para a produção de madeira e resina (SHIMIZU, 2006; SHIMIZU; SEBBEN, 2008).

No ano de 2012 os incrementos médios anuais (IMA) referentes ao gênero *Pinus* em plantios no Brasil atingiram valores de $40,1\text{ m}^3\text{ ha.ano}^{-1}$, valor bem superior quando comparado aos demais países produtores de madeira, que possuem IMA's para o gênero variando de $2\text{ m}^3\text{ ha.ano}^{-1}$ (Finlândia) até $28\text{ m}^3\text{ ha.ano}^{-1}$ (China) (ABRAF, 2013).

2.1.2 *Pinus taeda* L.

O *Pinus taeda* L. é uma espécie nativa do sudeste dos Estados Unidos e amplamente cultivada nas regiões tropicais e subtropicais (TANG et al., 1998). Sua área natural abrange desde o leste do Estado de Virginia e sul da Carolina do Norte até o norte da Flórida (GUPTA; DURZAN, 1991). Pode ser considerada a principal espécie comercial de madeira nos Estados Unidos e uma das espécies lenhosas mais importantes economicamente do mundo (GUPTA; DURZAN, 1991; TANG et al., 1998).

Essa espécie é altamente variável quanto à resistência a geada e à temperatura requerida quando se considera seu crescimento, sendo assim, somente após intensos estudos sobre as variações geográficas nos materiais genéticos introduzidos no Brasil, pôde-se concluir que as procedências da planície costeira do Estado da Carolina do Sul apresentaram maior adaptabilidade e, assim, maior produtividade e melhor qualidade de fuste para implantação e cultivo nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, em locais onde as geadas não são tão severas. Para os locais mais frios, como nas serras gaúchas e no planalto catarinense, as procedências da região do Estado da Carolina do Norte têm demonstrado maior adaptação e produtividade (REMADE, 2006).

Além de ser uma das espécies mais plantadas no sul do Brasil, uma vez que oferece alto potencial para reflorestamentos devido ao seu elevado incremento volumétrico nas regiões mais frias do planalto sul, também apresenta menores teores de resina quando comparado ao *Pinus elliottii* (SHIMIZU; HIGA, 1981), o que facilita sua utilização em serrarias, laminadoras, indústrias de aglomerado, MDF, construção civil, móveis, caixotaria, celulose e papel (SCHULTZ, 1997; MACHADO et al., 2011). E ainda, a espécie tem importância como fonte de matéria-prima para

fibra longa na produção de papéis, principalmente destinados a embalagens (ANDRADE, 2006).

Dessa maneira, devido a sua alta gama de utilizações, as florestas plantadas de pinus vêm sendo manejadas para produzir madeira para diversos fins (multiprodutos). Toras de grandes diâmetros são destinadas para laminadoras e serrarias, enquanto as de médio e pequeno diâmetro são utilizadas nos segmentos de papel e celulose, painéis e energia (GONÇALVES; BENEDETTI, 2000).

2.2 MÉTODOS PARA OBTENÇÃO DO VOLUME DA MADEIRA

Tendo-se em vista os métodos para determinação do volume dos fustes das árvores, é importante considerar que a forma do fuste pode variar de acordo com um grande número de fatores, como: espécie, sítio, tratos silviculturais, idade, aspectos genéticos, dentre outros. Nesse contexto, os troncos das árvores podem assumir diversas formas, podendo assemelhar-se a uma figura geométrica, no caso de coníferas, ou ter formas totalmente irregulares como árvores típicas do bioma cerrado, portanto, não se assemelhando a quaisquer tipos geométricos (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Para árvores que possuem troncos com formas definidas, as diferentes porções do fuste podem ser comparadas a sólidos geométricos. Em geral, a base da árvore se assemelha a um neilóide, a face intermediária a um paraboloide e a extremidade final a um cone (GOMES, 1957; CAMPOS, 1988; SCOLFORO; FIGUEIREDO FILHO, 1993; AVERY; BURKHART, 1997). Como não se consegue determinar o início e o fim de cada figura geométrica no tronco e tendo em vista que a forma das árvores não é perfeitamente regular, foram desenvolvidas diferentes metodologias para a obtenção do volume rigoroso, sendo esse processo conhecido como cubagem rigorosa. Para tal, a árvore é dividida em seções,

podendo essas serem de comprimentos iguais ou não e, por meio da utilização de fórmulas geométricas, o volume das seções é calculado, tendo-se o volume total da árvore pela soma das seções (GOMES, 1957; FAO, 1973; MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014). Entretanto, como uso desses métodos obtém-se uma estimativa do volume real da árvore, sendo o volume real ou verdadeiro obtido pelo método de deslocamento de água (xilogmetria), baseado no princípio de Arquimedes (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Existem vários métodos de cubagem rigorosa de árvores, entre os quais podem ser destacados: Smalian, Newton, Hohenadl, FAO, xilômetro, gráfico, entre outros. As árvores podem ser cubadas após sua derrubada (cubagem destrutiva) ou a cubagem pode ser realizada com a árvore em pé (cubagem não-destrutiva) por meio de escaladas ou através de dendrômetros ópticos (SANQUETA et al., 2014). Também, é importante destacar que os métodos de cubagem podem ser divididos em absolutos e relativos, respectivamente, sendo que no primeiro o comprimento das seções independe da altura total da árvore, enquanto no segundo os comprimentos das seções representam um percentual do comprimento total da árvore, o que permite a comparação de volumes individuais de árvores de tamanhos diferentes, quando se tem mesmas formas (CABACINHA, 2003).

Em inventários florestais, a cubagem rigorosa deve ser realizada por classe de diâmetro e altura das árvores. Obedecendo a essas condições e considerando tratamentos silviculturais semelhantes, espera-se que os indivíduos tenham formas semelhantes e constantes. Desta forma, haverá uma constância nos volumes de todos os indivíduos pertencentes à mesma classe de altura e de diâmetro (GOMES, 1957).

2.2.1 Xilometria e cubagem rigorosa destrutiva

A xilometria para a obtenção de volumes é método de cubagem que se baseia no princípio que o volume da tora é igual ao volume deslocado de água que a mesma proporciona no xilômetro ao ser submersa. A obtenção do volume através dessa metodologia elimina fontes de erro inerentes à forma do fuste e possíveis erros de medição de diâmetros e altura, portanto, pode ser considerado o método mais preciso para determinar o volume e, dessa forma, o único método a fornecer um valor paramétrico em comparação aos demais métodos resultantes de expressões matemáticas. Em contrapartida, o uso deste método também é sujeito à fonte de erros em situações quando a água penetra na tora ou quando a mesma não está totalmente submersa (STERNADT, 2001; MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Young et al. (1967) descrevem que todos os livros de mensuração florestal da América e Europa citam a xilometria como sendo o método para determinação do volume mais preciso e exato de fustes. Young et al. (1967); Goulding (1979); Martin (1984); Phillips e Taras (1987); Machado e Nadolny (1991 e 1993); Figueiredo Filho e Schaaf (1999); Figueiredo Filho et al. (2000) utilizaram a metodologia de determinação do volume por deslocamento de água (xilometria) como base para comparação de vários métodos de cubagem, funções de afilamento e equações de volume.

No caso de Martin (1984), o qual usou a xilometria para determinar o volume de toras de madeiras de lei com volume aproximado de $0,1416\ m^3$, obteve como resultado um coeficiente de variação inferior a 1%; enquanto que para toras de menor volume ($0,085$ a $0,1416\ m^3$) o coeficiente de variação foi de 2 a 3%.

Quanto aos métodos de cubagem rigorosa, na literatura são relatados diversos resultados e muitas vezes contraditórios. Gomes (1957) relata que não houve diferença estatística

significativa entre os métodos de Huber e Smalian considerando-se o mesmo grupo de fustes, enquanto os métodos de Huber e Newton conduziram a valores diferentes. Já Young et al. (1967) ao estudarem a precisão da cubagem pelos métodos de Smalian e Huber levando em conta diferentes comprimentos de seção, espécies e presença ou não de casca, indicam que os erros são menores quando utiliza-se a cubagem por Huber para seções de 2,44 e 4,88 metros de comprimento, sendo que a utilização de seções menores não resulta em diferença significativa na estimativa volumétrica para os dois métodos estudados.

Nesse sentido, Phillips e Taras (1987) ao compararem os métodos de Smalian, Huber, Newton, Grosenbaugh, tronco neilóide e tronco de cone para diferentes comprimentos de seção e classes diamétricas, tomando as medidas com sutas e fita métrica, inferem que o melhor desempenho em relação ao xilômetro foi apresentado por Newton e Huber em relação aos demais métodos testados, independente do instrumento de medição utilizado.

Goulding (1979) reportou que com a utilização do método de Newton o erro foi menor que 2% em toras com comprimento até 3 metros, apresentando um aumento de 2% para toras com 5 metros de comprimento. Isso também foi relatado por Husch et al. (1982) e Campos (1988), os quais destacam melhor precisão obtida pelo método de Newton, uma vez que se exige um maior número de medições de diâmetros em determinada seção do fuste. Porém, segundo Schreuder et al. (1993) o uso do método de Newton é pouco frequente, sendo mais indicado para trabalhos de pesquisa, devido a maior onerosidade nas medidas das seções.

Resultados semelhantes também foram obtidos por Machado e Nadolny (1991) ao estudarem os métodos de cubagem de Smalian, Huber e Newton, para árvores de *Pinus elliottii* utilizando diferentes comprimentos (1, 2, 4 e 6 metros) e considerando três classes de diâmetro (inferior, média e

superior). Os métodos de Huber e Newton apresentaram melhor desempenho, com tendência a menores erros na seção intermediária do fuste. As estimativas no cone (ponta) apresentaram maiores erros, sendo estes considerados não significativos, uma vez que o mesmo apresenta pequeno volume e baixa representatividade no volume total. Para as seções da base as fórmulas não se mostraram satisfatórias, com a fórmula de Huber apresentando-se superior às demais.

Em trabalho subsequente Machado e Nadolny (1993) testaram os métodos de Hohenadl, FAO (com 5 e 10 seções) e método gráfico, tendo como parâmetro medições efetuadas em xilômetro. Os resultados demonstraram resultados semelhantes para as estimativas de Hohenadl e FAO, sendo que o segundo apresentou erros ligeiramente inferiores. Todos os três métodos apresentaram erros menores do que 5% não diferiram estatisticamente entre si.

No geral, conforme Husch et al. (1982) e Campos (1988), independente do método utilizado para a estimativa volumétrica, quanto menor o comprimento das seções, tende a ser maior a precisão obtida.

2.2.2 Cubagem rigorosa não-destrutiva e dendrômetros ópticos

A cubagem em pé ou cubagem não-destrutiva é considerada um processo difícil e trabalhoso, porém, em alguns casos as árvores não podem ser derrubadas e esta é a única opção para determinação do volume. Além disso, é importante ressaltar que custo de inventário é fortemente influenciado pelas atividades de cubagem das árvores, uma vez que a mesma é procedida em separado das medições realizadas nas unidades amostrais quando se utiliza métodos destrutivos. Assim, a prática da cubagem não-destrutiva surge como alternativa para possíveis reduções nos custos do inventário, uma vez que a atividade pode ser executada simultaneamente

com a medição das demais variáveis observadas, contudo sem a derrubada das árvores (LEITE; ANDRADE, 2002).

Por meio da cubagem não-destrutiva podem ser obtidas informações importantes como volume e biomassa, porém, para determinação dos mesmos, são necessárias medidas do diâmetro ao longo do tronco com a árvore em pé. Com o intuito de facilitar a utilização dessa prática, foram desenvolvidos dendrômetros ópticos, evitando a necessidade de escalada da árvore para cubagem da mesma (trabalho oneroso, sujeito a erros de medição por se trabalhar em alturas elevadas e que exige pessoas treinadas), ou ainda utilização de instrumentos de medição acoplados a hastes ou cabos (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014; SANQUETA et al., 2014). Neste contexto, os dendrômetros ópticos foram construídos especificamente para medir diâmetros em diferentes alturas ao longo do fuste, surgindo desta forma, novas metodologias para a estimativa do volume de árvores em pé com usos de aparelhos como o Pentaprisma de Wheeler, Relascópio de Bitterlich, dendrômetro de Barr e Stroud, Criterion 400 e outros (ARNEY; PAINÉ, 1972).

O relascópio de Bitterlich é um equipamento que dentre as suas funcionalidades, mede diâmetros a diferentes alturas. Foi desenvolvido por Walter Bitterlich no final da década de 40, sendo um aparelho que por meio de escalas possibilita a medição de variáveis usualmente avaliadas em inventários florestais. Porém, ao perceber que o relascópio era acurado para medições de diâmetros apenas a pequenas distâncias, Bitterlich desenvolveu na década de 70 o Telerelascópio, que além de fazer todas as funções do relascópio é capaz de medir diâmetros à distância com precisão (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014). Resultados precisos são demonstrados por Parker (1997) com a utilização do telerelascópio em cubagens não-destrutivas.

Outro instrumento utilizado para esta finalidade é o Pentaprisma de Wheeler, sendo um dos aparelhos óticos mais

conhecidos (WHELEER, 1962). Consiste basicamente de um tubo de seção quadrada ou retangular, graduado na parte externa, possuindo dois prismas pentagonais no interior do tubo. O mesmo pode ser utilizado manualmente ou fixado em um tripé, medindo diâmetros a qualquer altura e distância das árvores. Também é possível fixar o hipsômetro de Suunto a ele, como forma de controlar as alturas ao longo do fuste nas quais serão obtidos os diâmetros (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Ao testarem o Pentaprisma de Wheeler, Avery e Burkhart (1997) indicaram grande precisão na leitura de diâmetros ao longo do fuste, até 50 metros acima do solo. No Brasil alguns trabalhos com cubagens não-destrutivas utilizando este aparelho foram realizados por Scolforo et al. (1998) em povoamentos de *Pinus elliotti*; Fischer et al. (2001) com *Pinus taeda*; Sanquette et al. (2003) para *Araucaria angustifolia*; Canalez et al. (2006a) com lauráceas e; Canalez et al. (2006b) em povoamentos de *Araucaria angustifolia* e *Ilex paraguariensis*.

A evolução da tecnologia laser e a necessidade de criação de equipamentos apropriados levou a empresa LASER TECHNOLOGY, INC. a iniciar trabalhos no desenvolvimento dessa tecnologia para medição de variáveis dendrométricas no ano de 1987 (CARR, 1992 e 1993). Estes culminaram na criação do Criterion, modelo 400, podendo este ser considerado a versão digital do relascópio de Bitterlich, tendo usos nas medições de alturas, diâmetros a qualquer altura do fuste, classe de forma, área basal do povoamento, inclinação do terreno em graus e em porcentagem, distâncias horizontais e inclinadas, ângulos horizontais e coordenadas para levantamentos topográficos, sendo estas variáveis apresentadas por um mostrador digital. Com capacidade de armazenamento na memória pode transferir os dados diretamente para um computador (LIU et al., 1993). Atualmente uma versão mais recente do mesmo foi criada, o Criterion RD1000, o qual

extinguiu as medições de levantamentos topográficos, o que o tornava um aparelho bastante caro.

As vantagens apresentadas pelos instrumentos de medição ópticos são: os benefícios pela economia de tempo, redução do erro e aumento da capacidade de coletar, manipular e extrair maior número de informações. Como desvantagens os mesmos podem ser considerados menos duráveis e menos confiáveis (CLARK et al., 2000).

Trabalhos realizados por Carr (1992), Dituno (1993) e Liu et al. (1993) verificando a precisão do Criterion 400 nos Estados Unidos na década de 1990, comprovam que o mesmo apresentou bom desempenho nas diversas tipologias do país e forneceu diâmetros a diferentes alturas do fuste com precisão.

Segundo Parker e Matney (1998), que compararam o uso do Pentaprisma de Wheeler, Telerelascópio e Criterion 400 para predição volumétrica de árvores em pé de *Pinus*, não houve diferenças significativas entre os mesmos. Entretanto, o Criterion 400 foi o instrumento mais acurado na determinação do diâmetro e altura, portanto, apresentando melhores resultados que o Pentaprisma de Wheeler.

Freitas e Wichert (1998) utilizaram o Criterion 400 nas medições de altura e diâmetros em parcelas de *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp., comparando com o Blume Leiss e Suunto no caso da variável altura e, suita e fita métrica para a variável diâmetro. Os autores concluíram que o Criterion 400 apresentou variação significativa apenas para os diâmetros, porém, não recomendaram seu uso em levantamentos que necessitem maior precisão.

Skovsgaard et al. (1998) relataram que o Criterion 400 teve melhores desempenhos para medidas de altura em comparação a três outros instrumentos (hipsômetro JAL, LEM 300-W/Forest e Suunto), estudando um povoamento com 56 anos de idade e 650 ind. ha⁻¹. Os mesmos também concluíram que o mesmo mostrou um viés em função da distância de medição em relação à árvore.

Willians et al. (1999) testaram a precisão de dendrômetros ópticos de Bar & Stroud FP15 e Criterion 400 em estimativas de altura e diâmetros em diferentes posições do fuste para a espécie *Pinus ponderosa* Laws. Para medições de diâmetro o dendrômetro de Bar & Stroud FP15 apresentou melhor precisão em relação ao Criterion 400 e para altura não houve diferenças entre ambos. Descrevem também que o único fator que influenciou nas medições de diâmetro e altura foi à distância entre o aparelho e a árvore, com o Criterion 400 apresentando variação em ambas as variáveis e o Barr & Stroud somente para altura com o aumento da distância de medição.

Oliveira et al. (2013) compararam a precisão do Criterion RD1000 na estimativa volumétrica de árvores em pé de *Cryptomeria japonica* (THUNB. EX L. F.) D. DON. em relação a cubagem destrutiva realizada pelo método de Smalian e não encontraram diferenças significativas entre as duas medições, avaliando o equipamento óptico como preciso.

Rodriguez et al. (2013) relata que estimativas volumétricas para as espécies *Pinus nigra* Arn. e *Pinus pinaster* subesp. *mesogeensis* obtidas através de métodos destrutivos não demonstraram vantagens em relação a metodologia não-destrutiva utilizando Criterion RD1000, considerando-se, principalmente, os gráficos de erro volumétrico. Em geral, os autores chegaram à conclusão que a distância de medição deve ser aproximadamente igual à altura da árvore para obtenção de melhor exatidão em levantamentos dendrométricos.

2.3 FATORES DE CONVERSÃO PARA UNIDADES DE VOLUME SÓLIDO E MASSA DE MADEIRA

2.3.1 Histórico, conceitos e definições

A partir da década de 60, com os incentivos fiscais dispostos pelo governo para plantios de espécies florestais de rápido crescimento, a produção madeireira brasileira apresentou considerável crescimento. Em tal época, a comercialização da madeira se dava tradicionalmente utilizando-se como unidade de medida básica o estéreo, uma medida de madeira empilhada. Segundo Batista e Couto (2002), essa unidade de medida era a mais utilizada na comercialização de madeiras em geral, desde pequenas quantidades, até montantes para a produção industrial, comercializada por grandes indústrias.

Essa unidade de medida, porém, implicava em muitos erros, uma vez que o volume sólido de madeira contido em um metro estéreo é influenciado por fatores referentes às árvores a serem empilhadas, à toragem das mesmas e a formação de pilhas. Alguns aspectos que influenciam a relação entre volume sólido e estéreo são: espécie (COUTO; BASTOS, 1988a; AVERY; BURKHART, 1983); região edafoclimática quando se trata da mesma espécie (COUTO; BASTOS, 1988a); classe de altura total e diâmetro à altura do peito (DAP) considerando-se mesma espécie e região edafoclimática (COUTO; BASTOS, 1988a; PAULA; REZENDE, 1992); forma do tronco (AVERY; BURKHART, 1983); tortuosidade e defeitos no tronco (AVERY; BURKHART, 1983); toras com casca ou sem casca (HUSCH et al., 1982; AVERY; BURKHART, 1983); presença de pedaços de ramos nas toras (AVERY; BURKHART, 1983); diâmetro das toras (CARRILLO et al., 1985; PAULA; REZENDE, 1992), comprimento das toras (TORQUATO, 1983; AVERY; BURKHART, 1983), tempo de secagem (REZENDE; PAULA,

1991) e método de empilhamento (manual ou mecânico) (TORQUATO, 1983; AVERY; BURKHART, 1983). Segundo Cailliez (1980) o fator de empilhamento (razão entre volume empilhado e volume sólido) pode variar de 1,25 a 2,22 e pode ocasionar erros de até 78% na estimativa final do volume empilhado quando se realiza um inventário florestal

Considerando o exposto e levando em conta que essa unidade de medida não faz parte do Sistema Internacional (SI) de unidades e medidas ao qual o Brasil subscreve, consequentemente, o estéreo não faria parte do sistema de unidades e medidas oficial e legal do Brasil. Em 1999, o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial) fixou uma norma (Portaria nº 130, de 07/12/1999) definindo que o estéreo poderia ser utilizado até 31 de dezembro de 2009, e a partir dessa data, a comercialização da madeira deveria ser realizada utilizando unidades de medida do Sistema Internacional (IPEF, 1999). Como a madeira é um produto sólido, o Sistema Internacional recomenda que a massa seja utilizada como forma de quantificação, sendo a unidade o kilograma (kg) ou a tonelada (t) (BATISTA; COUTO, 2002).

Entretanto, na atualidade a unidade estéreo ainda é aceita no Brasil, amparada pela Portaria INMETRO nº 238, de 25/10/2013 (INMETRO, 2013), principalmente para a comercialização de madeira destinada a fins energéticos, já que nestes casos o uso da massa verde ou biomassa como unidade de medida torna-se complicado, pois o teor de água da madeira é um dos principais fatores de qualidade para esse uso e também porque a madeira para energia é comercializada em pequenas quantidades, sendo este um processo mais prático e barato (BATISTA; COUTO, 2002).

Segundo Maciel (1984), a adoção de unidades de peso para a comercialização surgiu como alternativa para que não ocorressem erros devido a grande variação dos fatores de empilhamento e o recebimento da madeira por peso já vinha

sendo utilizado por algumas empresas florestais brasileiras. Mesmo com a permanência do estéreo como unidade de medida, a maioria das empresas florestais brasileiras adequaram seus controles de entradas e saídas da produção por meio da pesagem das toras, sendo este método conhecido como medida da produção de madeira por massa ou biomassa (BATISTA; COUTO, 2002).

2.3.2 Relações entre volume sólido e massa de madeira e fatores influentes

A utilização da pesagem das toras na comercialização apresenta algumas limitações considerando que a madeira é composta em grande parte por água (BATISTA; COUTO, 2002).

O empilhamento de toras de madeira e a deposição deste material a céu aberto são realidade em nosso processo de produção industrial, seja para confecção de painéis, extração de celulose, laminação, serrarias, energia calorífica (indústria cerâmica, padarias, carvão), enfim, para as mais diversas atividades do setor (BARROS, 2006).

Nesse contexto, é importante considerar que após a derrubada e processamento de uma árvore a massa da madeira decresce rapidamente em função da perda de água, sendo essa influenciada em grande parte pela espécie e condições climáticas vigentes, dentre outros fatores (BATISTA; COUTO, 2002). A madeira é um material poroso e higroscópico tendo capacidade de trocar continuamente água com o meio ambiente, buscando uma condição de equilíbrio de potencial energético, dessa forma, pode perder ou ganhar umidade, de acordo com as variáveis ambientais às quais está exposta (DURLO, 1992).

Assim, o recebimento da madeira através da pesagem pode apresentar problemas referentes ao seu teor de água devido sua variação com o tempo de estocagem e época do

ano. Em países onde esse sistema é adotado, existem tabelas para a correção do peso verde, para peso seco, por espécie e região (TARAS, 1956). Nesse caso, o pagamento da colheita e transporte é realizado com as informações colhidas na própria indústria, sendo a madeira transportada logo após o corte (COUTO; BASTOS, 1988a).

O conceito de madeira seca pode oscilar desde teores de água entre 15 e 20%, para secagem ao ar livre (SANTINI, 1992). Contudo a secagem natural da madeira é um processo relativamente lento e que depende da sua densidade, porosidade e dimensões da peça (REZENDE, 1997). A perda de água por parte da madeira pode reduzir de forma significativa o custo de transporte da mesma, o que se reflete no seu custo final (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985; SANTINI, 1992).

Outro fato importante a se considerar é que a madeira ao perder água, também sofre diminuição em suas dimensões e, consequentemente, em seu volume, sendo que o processo inverso ocorre quase na mesma proporção. Porém, essas alterações dimensionais da madeira processam-se até um valor fixo de umidade, que para a maioria das espécies está em torno de 28%, denominado ponto de saturação das fibras (REZENDE, 2003).

Barros (2006) ao estudar fatores de cubicação para eucalipto constatou que a estocagem da madeira a céu aberto em duas estações distintas (inverno e verão) por um período de seis meses levou a redução de metade da sua massa, o que sugere que aproximadamente metade da massa dos toretes era composta por água.

Em geral, na literatura há poucos resultados referentes a fatores de conversão entre unidades de volume e massa. Um dos poucos resultados expostos é de Arce (1997) que apresenta os valores utilizados pela empresa Pisa Florestal, para diferentes sortimentos (Tabela 1).

Tabela 1 – Fatores de conversão entre unidades de volume e massa na empresa Pisa Florestal no ano de 1997.
Onde DAP: diâmetro medido 1,3 metros acima do solo; m³: metro cúbico; t: tonelada.

Classe de DAP (cm)	Fatores de conversão (<i>Pinus spp.</i>)	
	m ³ / t	t / m ³
18 - 24	0,93	1,08
25 - 34	0,91	1,10
35 - 44	0,92	1,09
> 45	0,92	1,09

Fonte: ARCE, J. E. **Um sistema de programação do transporte principal de multiprodutos florestais visando a minimização de custos.** 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

Contudo, ainda assim é comum nas empresas florestais a adoção de fatores de conversão médios para eventuais transformações entre volume sólido e massa, o que pode acarretar em erros grosseiros, sem que haja devida amostragem específica para o local (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014). O conhecimento de fatores precisos e seu comportamento em relação ao tempo de estocagem podem auxiliar na redução da perda de material no momento da conversão (BARROS, 2006).

3 CAPÍTULO I – EXATIDÃO DE ESTIMATIVAS VOLUMÉTRICAS NÃO-DESTRUTIVAS EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L.

3.1 INTRODUÇÃO

Um dos desafios mais comuns na área florestal é referente à obtenção de volumes sólidos precisos de árvores em pé. Os mesmos são geralmente estimados em função de duas ou três variáveis das árvores, sendo essas às que normalmente são obtidas com facilidade e alto grau de precisão, como o diâmetro a altura do peito (DAP) e a altura do fuste dos indivíduos.

Desta forma, a mensuração florestal surge como um importante elemento do manejo florestal, uma vez, que as estimativas quali-quantitativa referentes à floresta são dependentes da mesma. É a partir dessas estimativas que são realizadas as tomadas de decisão, sendo assim, erros grosseiros nas mesmas podem comprometer a viabilidade de projetos florestais, considerando que a robustez dos mesmos é dependente de um rigoroso e eficiente planejamento.

Nos inventários florestais estão embutidos erros, que podem ser inerentes às medições (erros sistemáticos) ou relacionados ao sistema de amostragem utilizado (erros amostrais) (COUTO; BASTOS, 1988b). Os erros sistemáticos podem estar associados à calibração do instrumento de medição, a efeitos do ambiente sobre as medições ou relacionados ao observador (PEREZ, 1989).

Para análises de erros é importante entender a diferença de dois conceitos básicos, exatidão e precisão. Esses, segundo a linguagem comum podem parecer sinônimos, porém, de acordo com o *International Vocabulary of Metrology* (VIM) os mesmos possuem diferenças. Exatidão é tida como o grau de concordância entre o resultado de uma medição e o valor verdadeiro da variável mensurada. As medidas de exatidão

geralmente são expressas em termos de viés. Já a precisão se refere a um conceito qualitativo que indica o grau de concordância entre os diversos resultados das medições em condições de repetitividade, sendo independente de um valor real ou teórico. Essa geralmente é expressa de acordo com a variância, desvio padrão ou coeficiente de variação (RODRIGUEZ et al., 2013).

Sendo assim, para que se aumente a confiabilidade dos inventários florestais é pertinente que suas fontes de erros sejam conhecidas, com a finalidade de eliminá-las, ou ao menos reduzir seus efeitos sobre a precisão das medições e, consequente exatidão dos resultados. Quando se consideram os erros em altura e diâmetro a altura do peito (DAP), nota-se maior importância nos erros para a segunda variável nas estimativas de volume cilíndrico (COUTO; BASTOS, 1988b).

Para estimativas de volumes individuais é comum o uso de relações empíricas, onde se obtém os mesmos sem a derrubada das árvores, por meio de equações volumétricas. A utilização dessas estimativas, embora seja de grande valia, ainda não é a solução mais precisa, considerando que para o desenvolvimento de relações empíricas são necessários dados fornecidos pela cubagem rigorosa. Quando a relação empírica é extrapolada de uma região para outra, onde a cubagem rigorosa não pode ser realizada, têm-se problemas inerentes à representatividade da relação empírica (CASTRO et al., 2008).

A cubagem rigorosa destrutiva é o método tradicionalmente usado para quantificar o volume individual de árvores e, fornecer dados precisos para a elaboração de relações empíricas. Para tal, é necessária a derrubada da árvore da qual se deseja obter o volume e, realizam-se medições de diâmetros ao longo de seu fuste em posições pré-definidas, para posterior cálculo volumétrico.

Quando há necessidade de exatidão e precisão dos dados para ajuste de equações volumétricas ou construções de curvas de afilamento, a estimativa do volume na maioria das

vezes envolve métodos de medição destrutivos. Esses métodos não podem ser utilizados em ecossistemas florestais frágeis (RODRIGUEZ et al., 2013). Dessa forma, em muitos casos o conjunto de dados para o desenvolvimento dos modelos nesses ecossistemas, é oriundo de amostragens oportunistas de árvores caídas naturalmente, o que na maioria das vezes não atinge a representatividade ideal (WILLIAMS et al., 1999).

Nesse contexto, muitos instrumentos capazes de realizarem medições indiretas de diâmetros ao longo de fustes de árvores em pé são encontrados na literatura, sendo que alguns não estão mais disponíveis, como é o caso do Barr & Stroud ou Telerelascópio. Enquanto outros foram melhorados, como o Criterion 400, com a criação do Criterion RD1000, possuindo uso exclusivo para medições florestais, tendo como princípio a tecnologia a *laser*.

As mais sérias limitações dos instrumentos a *laser* incluem deflexões devido às condições de luminosidade e presença de folhagem e galhos entre o instrumento e o tronco no qual se deseja efetuar as medições (RODRIGUEZ et al., 2013). As deflexões a *laser* tornam-se extremamente críticas ao medir diâmetros ao longo do fuste porque os diâmetros são diretamente proporcionais à distância horizontais verdadeiras até as árvores a serem medidas (PARKER; MATNEY, 1998; CLARK et al., 2000).

Tendo em vista que o método destrutivo torna as atividades de inventários florestais, na maioria das vezes, mais demoradas e com custos mais elevados, além de apresentar limitações em florestas tropicais onde se tem árvores de grande porte e, em áreas amparadas pela legislação nas quais não se pode realizar a derrubada de árvores (NICOLETTI, 2011).

O objetivo do presente trabalho foi verificar a exatidão das estimativas volumétricas por meio da utilização do dendrômetro Criterion RD1000 na cubagem não-destrutiva de indivíduos de *Pinus taeda* L., considerando diferentes idades dos povoamentos e distâncias horizontais de medição entre o

medidor e a árvore (DH). Além disso, buscou-se determinar os tempos gastos nas cubagens não-destrutivas em cada idade e DH estudada.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em povoamentos de *Pinus taeda* L. em uma empresa florestal no município de Ponte Alta do Norte, região serrana do Estado de Santa Catarina, situada nas coordenadas UTM aproximadas de E: 553821, N: 7000262, fuso 22 J. A altitude do local é bastante variável, ficando dentro das isométricas 800 e 1.200 metros acima do nível do mar.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da área de estudo é predominantemente do tipo “Cfb”, mesotérmico, subtropical úmido, com verões frescos, sem estações secas definidas e com a ocorrência de geadas severas. A precipitação anual média de 1.740 mm e a temperatura média anual de 16,8 °C (THOMAS et al., 2006).

A microrregião onde está inserido o município apresenta predominantemente associações de Cambissolo Háplico alumínico com A proeminente, textura média, fase campo e floresta subtropical, relevo suave ondulado e Gleissolo Háplico alumínico com textura indiscriminada, fase campo subtropical de várzea, relevo plano numa proporção estimada de 45 e 35%, respectivamente. Os 20% restantes são representados pelas inclusões: Cambissolo húmico alumínico com textura argilosa; Argissolo Vermelho-Amarelo álico, textura média; Nitossolo Bruno alumínico com A proeminente; Cambissolo Háplico alítico e Gleissolo Háplico com textura argilosa (EMBRAPA, 2004).

O estudo foi realizado em povoamentos com 13 e 21 anos, ambos possuíam espaçamento inicial de 2,5 x 2,5 m, totalizando 1600 ind. ha⁻¹. O primeiro, com 13 anos, sofreu

duas intervenções de desbaste, sendo a primeira aos oito e a segunda aos onze anos de idade, possuindo como remanescentes aproximadamente 600 ind. ha⁻¹. O segundo além das citadas, foi submetido ao terceiro desbaste na idade de 15 anos, restando em torno de 400 ind. ha⁻¹.

3.2.2 Coleta de dados

A amostragem foi realizada em duas idades, 13 e 21 anos, sendo amostrados 20 e 21 indivíduos, respectivamente, para a primeira e segunda idade. As medições consistiram na cubagem em pé (não-destrutiva), cubagem destrutiva e xilometria de cada indivíduo. Desta forma, foram amostrados um total de 41 indivíduos.

O método de cubagem adotado para a cubagem destrutiva e não-destrutiva no presente estudo, foi o proposto por Hohenadl que divide a árvore em 10 seções. Nesse método, as medidas são tomadas nas posições relativas de 5%; 15%; 25%; 35%; 45%; 55%; 65%; 75%; 85% e 95% do fuste, o que permite a comparação entre indivíduos de diferentes alturas, considerando que as medidas são tomadas nas mesmas posições em todas as árvores (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Para a realização da cubagem não-destrutiva primeiramente foram medidas as alturas de todos os indivíduos fazendo o uso do hipsômetro Vertex IV, possibilitando o cálculo das alturas absolutas nas quais seriam medidos os diâmetros. Posteriormente, em cada árvore foi realizada a cubagem não-destrutiva, fazendo o uso do dendrômetro Criterion RD1000 fixado em monope adaptado, considerando três diferentes distâncias horizontais de medição (DH), sendo essas de 10, 14 e 18 m. Possibilitando assim, inferências a respeito de qual DH apresenta melhores resultados nas estimativas volumétricas, considerando que a medição dos diâmetros ao longo do fuste são dependentes dessa variável.

Tem-se, desta forma, um total de 126 cubagens segundo a metodologia não-destrutiva.

As medições da cubagem destrutiva foram realizadas por meio de sutas e trenas, sendo que as árvores foram derrubadas com o auxílio de motosserra Stihl MS-361. Os cálculos dos volumes por seção e individuais para ambas as metodologias, foram efetuados com base na Expressão 1, sendo que essa diferentemente de algumas expressões utilizadas nos cálculos de volumetria, não considera o volume da ponta como se fosse um cone (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

$$v = \frac{h}{10} (g_{0,05} + g_{0,15} + \dots + g_{0,95}) \quad (\text{Expressão 1})$$

Onde: v é o volume individual da árvore (m^3); h : altura total da árvore (m) e $g_{0,05}$ área transversal aos 5% da altura total da árvore (m^2).

As áreas transversais são calculadas segundo a Expressão 1.1.

$$g = \frac{\pi * d^2}{4} \quad (\text{Expressão 1.1})$$

Onde: g é a área transversal (m^2) e d é o diâmetro de cada posição medida do fuste (m).

Por fim, os indivíduos foram traçados em toras de aproximadamente 3,10 m de comprimento para a xilometria das mesmas, da qual foram obtidos os volumes reais para posterior comparação, sendo esses dados pela soma dos volumes das seções de cada árvore. O xilômetro utilizado para tal procedimento foi projetado para o presente estudo tendo dimensões de 3,20 m de comprimento, 0,90 m de largura e 1,10 m de altura (Figura 1).

Figura 1 – Xilômetro utilizado no estudo. Sendo: A: leitor das medidas efetuadas no xilômetro. B: xilômetro em funcionamento a campo.



Fonte: produção do próprio autor

3.2.2.1 Descrição do dendrômetro Criterion RD1000

O dendrômetro Criterion RD1000 (Figura 2) é um dispositivo óptico que fornece resultados em tempo real para cálculos que se relacionam a área basal, altura da árvore e diâmetros. Uma de suas funcionalidades é a medição de diâmetros ao longo do tronco das árvores, seguindo a metodologia não-destrutiva, a qual foi utilizada no presente trabalho (LASER TECHNOLOGY INC., 2005). O mesmo possui também a capacidade de armazenar em sua memória, dados que posteriormente podem ser transferidos para o computador para proceder-se com os cálculos.

Figura 2 – Dendrômetro Criterion RD1000 utilizado para medições dos diâmetros em diferentes posições do fuste.



Fonte: produção do próprio autor

3.2.3 Análise dos dados

Para as variáveis diâmetro, volume por seção e volume acumulado por seção foi realizada a comparação entre as estimativas obtidas pela cubagem não-destrutiva e cubagem destrutiva, sendo a segunda considerada como valor de referência. Já para volume individual e total, comparou-se as estimativas obtidas pela cubagem não-destrutiva e cubagem destrutiva, em relação aos volumes reais obtidos pela xilometria dos fustes.

Os valores das diferenças entre as estimativas e as observações consideradas referência foram analisados por meio de estatística descritiva (média e desvio padrão) e análises gráficas visando caracterizar a distribuição das diferenças. Todas as análises foram realizadas por meio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

3.2.3.1 Cálculo dos erros individuais

Com os dados obtidos por meio dos três métodos foram calculados os erros absolutos (Expressão 2) para as variáveis: diâmetro, volume por seção, volume acumulado por seção, volume individual e volume total.

$$EA_i = x_{ref\ i} - x_{est\ i} \quad (\text{Expressão 2})$$

Onde: EA_i é o erro absoluto obtido para diâmetro (cm) ou volume (m^3) para a i-ésima árvore; $x_{ref\ i}$ é o valor de referência obtido para o diâmetro (cm) ou volume (m^3) para a i-ésima árvore e $x_{est\ i}$ é o valor estimado para diâmetro (cm) ou volume (m^3).

Além dos erros absolutos, foram analisados os erros relativos individuais, sendo esses obtidos por meio da Expressão 3.

$$ER_i = \frac{EA_i}{x_{ref\ i}} * 100 \quad (\text{Expressão 3})$$

Onde: ER_i é o erro relativo do diâmetro ou volume da i-ésima árvore (%); EA_i é o erro absoluto obtido para diâmetro (cm) ou volume (m^3) para a i-ésima árvore; $x_{ref\ i}$ é o valor de referência obtido para o diâmetro (cm) ou volume (m^3) para a i-ésima árvore.

Analisaram-se os erros absolutos e relativos individuais para cada metodologia estudada, onde valores de erros médios negativos indicam superestimativas em relação ao valor de referência e valores positivos indicam subestimativas em comparação aos mesmos.

3.2.3.2 Erro dos volumes individuais e por hectare

Para a análise dos erros referentes aos volumes individuais e por hectare utilizou-se o método *Bootstrap* por meio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014). A princípio tinham-se os volumes individuais e por área

obtidos através da xilometria, cubagem rigorosa destrutiva e cubagem rigorosa não-destrutiva para cada DH estudada. Dessa forma, foram considerados cinco métodos de determinação de volume individual para cada idade, tendo-se como testemunha a metodologia que fez o uso do xilômetro.

Pelo método de *Bootstrap* obtiveram-se simulações para o conjunto de dados, de forma a re-amostrar o mesmo, para analisar o comportamento dos mesmos ao nível de volumes individuais e total por hectare. Foram geradas 1000 re-amostragens no conjunto de dados, sendo cada uma dessas, composta por 19 árvores, em cada método estudado. Não se pressupôs qualquer distribuição de probabilidade.

A partir dessas simulações foram elaborados gráficos de frequência para volume individual e total e, analisados os erros para volume total considerando as metodologias estudadas com intervalos ao nível de 95% de confiança.

3.2.3.3 Tempos de medição na cubagem não-destrutiva

Com a finalidade de verificar os tempos gastos para as cubagens segundo a metodologia não-destrutiva, foram cronometrados os tempos nas cubagens individuais em cada idade e DH estudadas.

O tempo foi marcado a partir do momento em que se iniciou a esticada da trena até a medição do diâmetro da última posição em cada indivíduo

Para a análise estatística procedeu-se com o teste de Kolmogorov-Smirnov ($n>30$) e Bartlett. Posteriormente, realizou-se a análise de variância considerando o delineamento inteiramente casualizado, seguida do teste de médias de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.3.1 Dados dendrométricos descritivos

Os dados oriundos do inventário florestal são apresentados na Tabela 2, para as idades de 13 e 21 anos, respectivamente.

Tabela 2 – Resumo dos dados de diâmetro à altura do peito, altura total e volume total por indivíduo para duas idades de *Pinus taeda* L. Onde: mín, méd e máx representam respectivamente, os valores mínimos, médios e máximos de cada variável de interesse observada nas duas diferentes idades.

Idade (anos)	dap (cm)			h (m)			v (m^3)		
	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx
13	21,5	27,7	36,0	15,4	17,2	19,0	0,2645	0,4980	0,7031
21	30,1	37,9	45,2	24,7	26,3	28,0	0,9139	1,4131	1,9702

Fonte: produção do próprio autor

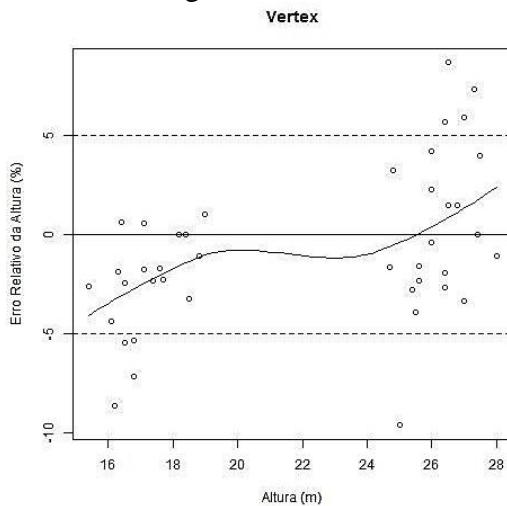
Tem-se para a primeira idade, árvores de menor porte, com diâmetros médios de 27,7 cm e para a idade de 21 anos árvores maiores com diâmetro médio de 37,9 cm. As alturas ficaram compreendidas entre 15,4 e 19 m para a idade de 13 anos e variaram de 24,7 a 28,0 m para a maior idade. Desta forma, as árvores mais velhas apresentaram em média um volume superior de 0,9151 m^3 em relação às árvores com menor idade.

3.3.2 Análise dos erros de medição da altura total dos indivíduos

A distribuição dos erros relativos das medidas de altura efetuadas com o hipsômetro Vertex IV em relação à medição

realizada com trena pelo método destrutivo é apresentada na Figura 3. As medições de altura obtidas com o Vertex IV apresentaram tendência à superestimativas nas alturas de árvores de menor porte (13 anos) e subestimativas para indivíduos de maior porte (21 anos).

Figura 3 – Erros relativos (%) para medição em altura total com a utilização de hipsômetro Vertex IV em relação às alturas das árvores (m) obtidas pelo método destrutivo. Onde: linha sólida assinala erros relativos iguais a zero e linhas pontilhadas demarcam a área em que os erros relativos são menores ou iguais a 5%.



Fonte: produção do próprio autor

As medições nas diferentes idades apresentaram comportamentos distintos quando se consideram os erros relativos, tendo-se para a idade de 13 anos superestimativas nas medições em altura total, enquanto as medições na idade de 21 anos apresentaram valores subestimados em relação ao valor de

referência. Isso infere uma tendência a subestimativa das medições com o aumento da altura total das árvores.

Considerando as duas idades, observou-se que o Vertex IV forneceu em média um erro menor que -0,11 m em altura nas leituras efetuadas, representando valores superestimados quando comparados aos valores obtidos pela medição da altura segundo o método destrutivo com a utilização de trena. Em termos relativos o erro médio em altura é de aproximadamente -0,9%.

Resultados ainda menores foram encontrados por Oliveira et al. (2013) ao compararem a exatidão das medidas efetuadas com o Vertex em relação às realizadas com trena pelo método destrutivo para a espécie *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L. f.) D. Don., obtendo erros absoluto e relativo médios de -0,09 m e -0,14%, respectivamente. Da mesma forma, no presente trabalho, as medições por parte do Vertex, apresentaram leve tendência a superestimativa das alturas totais em comparação às obtidas com medição direta pela trena.

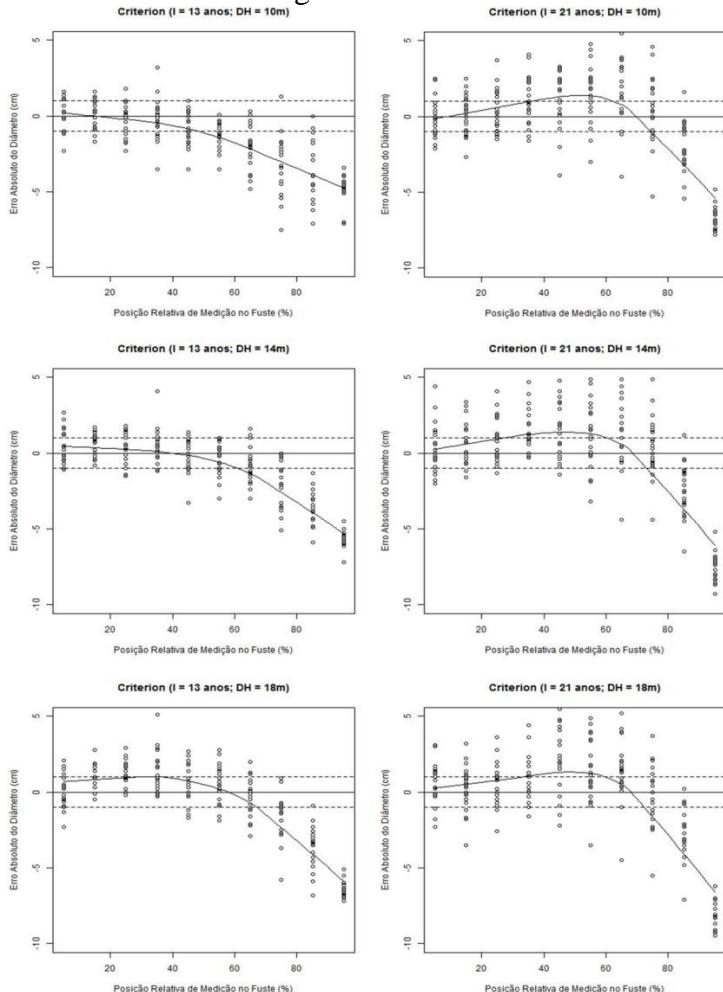
Em estudo semelhante Jesus et al. (2012), ao testarem a exatidão de três hipsômetros (Vertex, Haga e Suunto) na medição de altura total de árvores de *Eucalyptus urograndis*, inferem que todos os hipsômetros se mostraram precisos para medições de altura total quando comparados às medidas realizadas com trena após a derrubada da árvore. O Vertex ofereceu estimativas menos exatas quando comparado aos outros hipsômetros testados, apresentando respectivamente, erros absoluto e relativo médios de -0,77 m e -4,55%, o que também demonstra superestimativas em relação às alturas reais observadas.

3.3.3 Análise dos erros do diâmetro ao longo do tronco

A distribuição dos erros absolutos nas medidas dos diâmetros ao longo do fuste apresentaram comportamentos

distintos quando se considera as diferentes idades e distâncias horizontais de medição estudadas (DH) (Figura 4).

Figura 4 – Erro absoluto do diâmetro (cm) em relação à posição da medida do mesmo no fuste (m). Onde: linhas pontilhadas demarcam erros absolutos menores ou iguais a 1 cm.



Fonte: produção do próprio autor

Para a idade de 13 anos na DH de 10 metros observa-se uma tendência a superestimativa dos diâmetros nas posições mais baixas do fuste, sendo que os erros absolutos de superestimativa aumentam nas posições mais altas do tronco.

Considerando a DH de 14 m para a mesma idade, nota-se que os diâmetros são subestimados até a posição 35% do fuste e a partir da mesma, os erros absolutos indicam superestimativa dos mesmos, com aumento gradual para as posições mais altas do fuste.

Já para a DH de 18 m, observa-se tendência semelhante, porém, com subestimativas crescentes dos diâmetros até 55% do fuste, tendo a partir dessa posição o mesmo comportamento observado nas demais DH's, com ascendente superestimativa nas posições mais altas do fuste.

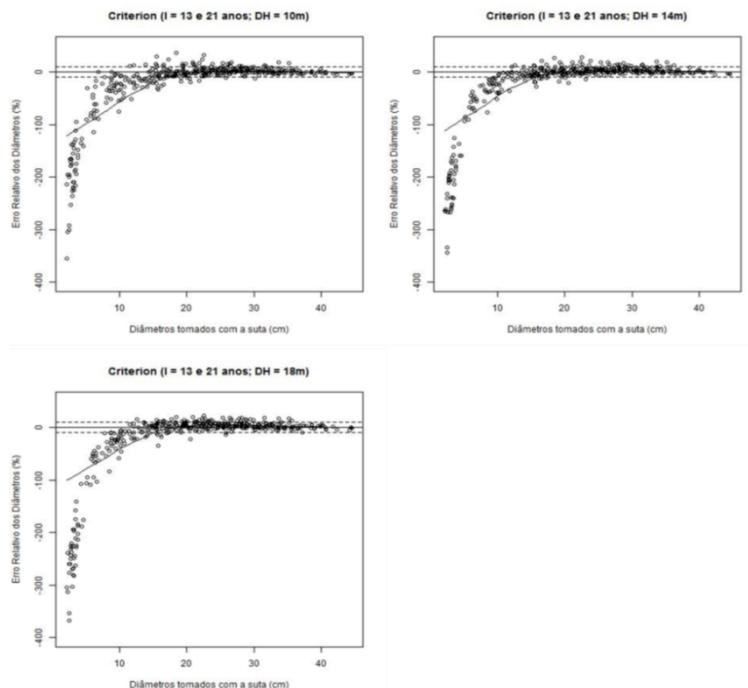
Analizando as medidas dos diâmetros ao longo do fuste na idade de 21 anos, observa-se para as três DH's abordadas um comportamento similar quanto aos erros absolutos, onde se percebe tendência a subestimativa dos diâmetros até a posição de 65% do fuste, tendo-se a partir dessa a superestimativa dos mesmos, nas posições de 75%, 85% e 95%.

Considerando de forma geral os resultados para a idade de 13 anos, constata-se que houve uma tendência na subestimativa dos diâmetros com o aumento da DH até a posição de 55% do fuste. Em contrapartida para a idade de 21 anos, observa-se que houve comportamento similar para todas as diferentes DH's abordadas.

Para ambas as idades a medição do diâmetro nas posições mais altas do fuste, ou seja, nos locais onde são encontradas as menores observações, os erros absolutos tendem a ficar mais acentuados, indicando superestimativa dos diâmetros. Fato este que se associa às limitações na banda do aparelho, que nessas posições não consegue enquadrar os diâmetros menores do fuste. Assim, nessas posições os diâmetros observados são menores do que o diâmetro mínimo passível de ser medido com o Criterion RD1000.

Tal fato pode sugerir que o aparelho seja ineficiente nas medições dos diâmetros nas maiores alturas dos troncos. Essa limitação faz com que principalmente os diâmetros na posição de 95% do fuste sejam superestimados em até 400% em relação ao valor real, como pode ser notado na Figura 6.

Figura 5 – Erro relativo dos diâmetros (%) em relação ao diâmetro tomado com a suta, considerando as diferentes distâncias horizontais de medição de 10, 14, 18 m. Onde: linha sólida assinala erros relativos iguais a zero e linhas pontilhadas demarcam a área em que os erros relativos são menores ou iguais a 10%.



Fonte: produção do próprio autor

Nota-se que para as três DH's estudadas os erros relativos têm comportamento similar em relação aos diâmetros reais medidos com a sutá nas diferentes posições do fuste, indicando tendência à superestimativas mais acentuadas nos diâmetros menores do que 15 cm. Para diâmetros maiores que o citado os erros relativos são compreendidos próximos ao eixo zero, sem tendência aparente à subestimativas e superestimativas.

Como os erros referentes às estimativas dos diâmetros das posições mais altas dos fustes se apresentaram bastante discrepantes, optou-se por demonstrar os erros referentes às medições tomadas no tronco inteiro e também considerando apenas 75% do mesmo (Tabela 3).

Tabela 3 – Erro absoluto médio (cm) (\pm desvio padrão) e erro relativo médio (%) (\pm desvio padrão) para as idades de 13 e 21 anos, nas distâncias horizontais de medição de 10, 14, 18 m, considerando a árvore inteira e 75% do fuste da mesma. Onde: I é a idade em anos; DH é a distância horizontal de medição (m); \overline{EA}_d é o erro absoluto médio dos diâmetros ao longo do fuste (cm); \overline{ER}_d : erro relativo médio dos diâmetros ao longo do fuste (%).

I (anos)	DH (m)	Árvore Inteira		75% da Árvore	
		\overline{EA}_d (cm)	\overline{ER}_d (%)	\overline{EA}_d (cm)	\overline{ER}_d (%)
13	10	-1,60 (\pm 2,11)	-28,88 (\pm 54,75)	-0,96 (\pm 1,67)	-7,34 (\pm 13,15)
	14	-1,12 (\pm 2,23)	-28,60 (\pm 63,26)	-0,25 (\pm 1,37)	-2,95 (\pm 10,0)
	18	-0,69 (\pm 2,71)	-28,47 (\pm 71,79)	-0,40 (\pm 1,56)	-0,53 (\pm 10,65)
21	10	-0,13 (\pm 2,99)	-19,31 (\pm 64,94)	-0,92 (\pm 1,98)	-3,83 (\pm 8,72)
	14	-0,15 (\pm 3,26)	-22,74 (\pm 74,68)	-1,08 (\pm 1,91)	-3,97 (\pm 7,82)
	18	-0,38 (\pm 3,37)	-25,39 (\pm 79,44)	-0,89 (\pm 1,93)	-3,19 (\pm 7,94)

Fonte: produção do próprio autor

As medidas de diâmetros ao longo do fuste por parte do Criterion RD1000 demonstraram erros relativos médios levemente menores com o aumento da DH, quando se considera a árvore inteira na idade de 13 anos, sendo esses de -28,88%, -28,60% e -28,47%, para as DH's de 10, 14 e 18 m, respectivamente. O contrário acontece para a idade de 21 anos, onde se constata um aumento nos erros absoluto e relativo médios com o aumento da DH, tendo-se, respectivos valores para erro relativo médio de -19,31%, -22,74% e -25,39%, para as DH's de 10, 14 e 18 m.

Esses erros são explicados, principalmente, pela superestimativa dos diâmetros das posições mais altas do fuste conforme apresentado na Figura 4. Observa-se como limitação no aparelho ainda, que de forma geral, conforme aumenta a DH e a altura da posição a ser medida na árvore tem-se um aumento do diâmetro mínimo passível de ser medido com a banda do mesmo, inferindo maiores superestimativas dos diâmetros nas posições de 85% e 95% para as maiores DH's estudadas.

Sem considerar as duas últimas posições relativas de medição na árvore (85% e 95%), tem-se diminuição nos erros relativos médios observados, sendo esses menores que 7,34% nas medições efetuadas no povoamento de 13 anos de idade e menores que 4% no povoamento com idade de 21 anos. Para a segunda idade (21 anos), observa-se ainda, uma mudança de comportamento dos erros médios em relação às DH's, que considerando apenas a porção 75% inferior da árvore, apresenta menores erros relativos para a DH de 18 m, diferindo dos resultados apresentados para árvore inteira.

Kalliovirta et al. (2005) testaram a utilização do Relascópio a *laser*, o qual realiza medidas indiretas do diâmetro, e ao comparar os resultados obtidos concluíram que o mesmo demonstrou um maior erro padrão, tanto para altura, quanto para diâmetro em relação ao Criterion 400 e ao Barr & Stroud. Parker e Matney (1998) realizaram trabalho

semelhante comparando três dendrômetros ópticos para obtenção de medidas sob a forma não-destrutiva. Esses inferem erros médios em diâmetro subestimados de 0,13 cm com o aparelho Criterion 400 e 0,86 cm com o Pentaprisma de Wheeler. Já o Telerelascópio apresentou erros superestimados em 0,51 cm. Resultados distintos aos encontrados neste trabalho, onde se observou para todas as DH's erros médios de superestimativa em diâmetro.

Willians et al. (1999) inferem em seu trabalho medidas de diâmetros ao longo do fuste ainda mais precisas com a utilização do Criterion 400 na medição de *Pinus ponderosa* Laws, descrevendo erros médios superestimados em relação aos diâmetros verdadeiros na ordem de -0,12 cm para erro absoluto, -0,40% para erro relativo e erro padrão de 1,43 cm. Já para Fairweather (1994), os erros absolutos médios variaram de -1,07 a 1,73 cm na medição de diâmetros ao longo do fuste fazendo o uso do mesmo aparelho.

Nicoletti (2011) ao utilizar o aparelho Criterion 400 na cubagem não-destrutiva até a posição de 8 metros de altura, para a espécie *Eucalyptus grandis* Maiden, encontrou valores de erro relativo para medições de diâmetro menores que 10% nas diferentes posições do fuste, deparando-se com um erro relativo médio de aproximadamente 5%. Em termos absolutos o aparelho demonstrou um erro médio menor que 1 cm, subestimando os diâmetros em relação a cubagem destrutiva. No presente trabalho os resultados se mostraram ainda mais promissores quando se considera apenas 75% do fuste, tendo-se erros relativos médios de -0,53% e 3,19% para as idades de 13 e 21 anos, respectivamente, tomando-se as medidas na DH de 18 m.

Em contrapartida, resultados encontrados por Freitas e Wichert (1998) demonstraram comportamento contrário. Ao testarem a exatidão do Criterion 400 na obtenção de alturas e diâmetros ao longo do fuste de árvores esses autores obtiveram erros de até 22 cm nas medições de diâmetro, representando

erros superestimados de aproximadamente 48% em relação aos valores reais.

3.3.4 Erros no volume por seção e acumulado

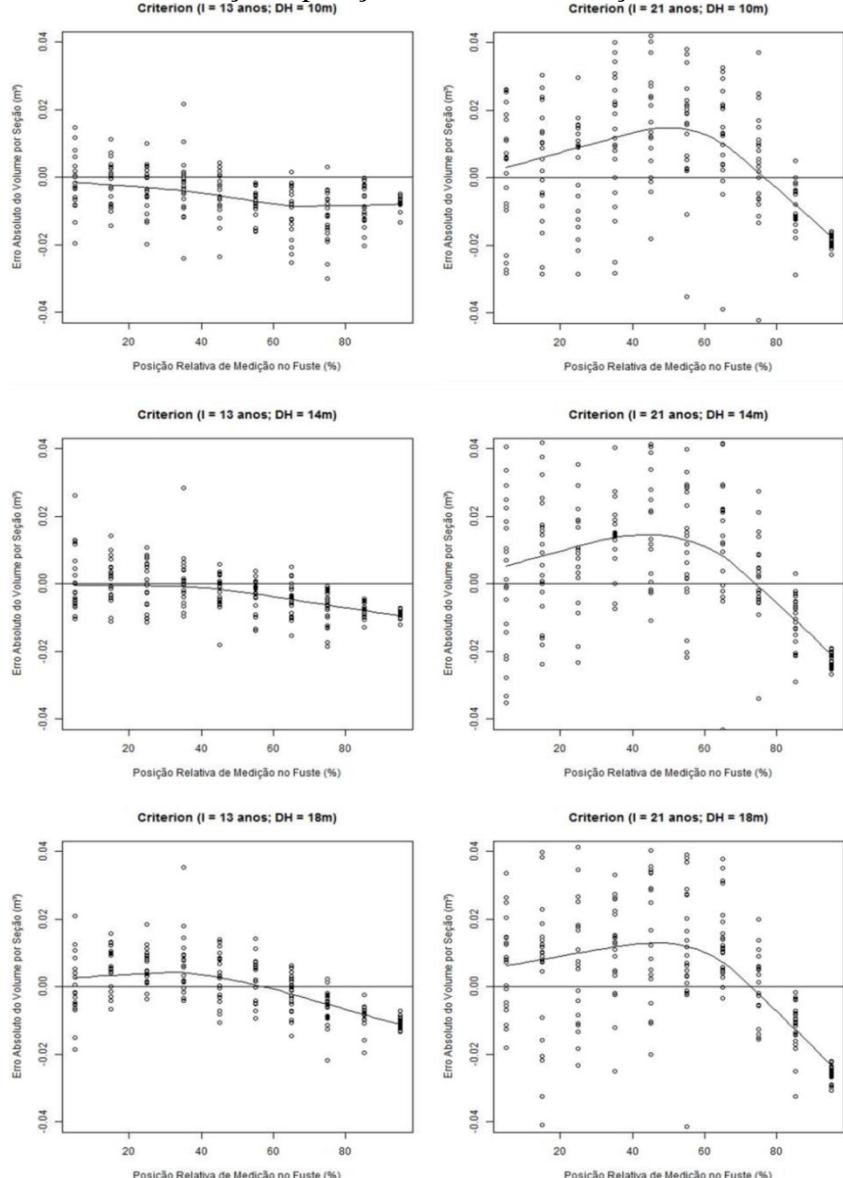
Os erros absolutos do volume por seção tiveram comportamento semelhante aos erros obtidos para diâmetro ao longo do fuste (Figura 6), uma vez que o volume é dependente das medidas dos mesmos.

Observa-se para a idade de 13 anos diferenças nos comportamentos dos erros para as diferentes DH's, com tendência a subestimativa do volume nas posições mais baixas do fuste a medida que a DH aumenta, tendo-se superestimativa dos volumes nas seções mais altas do fuste para todas as distâncias estudadas. Enquanto para a idade de 21 anos o comportamento dos erros observados é semelhante para todas as DH's estudadas, com subestimativas dos volumes até aproximadamente 75% do fuste e superestimativas dos mesmos nas duas últimas posições do tronco.

Os erros absolutos médios apresentados pelo dendrômetro para volume por seção (m^3) foram de -0,0061, -0,0032 e -0,0006 m^3 , para as DH's 10, 14 e 18 m, respectivamente, considerando a idade de 13 anos. Isso demonstra tendência à diminuição do erro de volume por seção médio com o aumento da DH.

Na idade de 21 anos tem-se para as DH's de 10, 14 e 18 m, erros médios de -0,0048, -0,0066 e -0,0006 m^3 , respectivamente. Para a presente idade os resultados demonstram um aumento no erro absoluto médio do volume por seção da DH de 10 m para 14 m. Já a DH de 18 m apresenta os menores erros médios, assim como demonstrado para a idade de 13 anos.

Figura 6 – Erro absoluto dos volumes por seção (m^3) em relação à posição relativa de medição no fuste.



Fonte: produção do próprio autor

Para ambas as idades percebe-se um menor erro médio para a DH de 18 m. Resultados semelhantes foram encontrados por Rodriguez et al. (2013), ao testarem o Criterion RD1000 para medições de diâmetros ao longo do fuste com o intuito de estimar volumes individuais das árvores. No estudo os autores consideraram duas distâncias observador-árvore, sendo as distâncias estudadas: aproximadamente metade da altura da árvore e igual à altura da mesma. Os mesmos constataram que os melhores resultados foram provenientes da maior distância de medição, indicando a mesma para medições de diâmetro ao longo do fuste, para estimativas de volume de árvores em pé.

Já Willians et al (1999) e Kalliovirta et al (2005) inferem em seus trabalhos que com o aumento da distância, observador-árvore, tem-se diminuição da confiabilidade dos diâmetros obtidos com dendrômetros de tecnologia a *laser*.

Mesmo não avaliando questões ergonômicas, percebe-se no presente estudo, que a DH interfere nas condições de ergonomia do medidor, principalmente nas medições efetuadas nas posições superiores do fuste. Nas DH's mais próximas as árvores tem-se maior dificuldade para visualização das últimas posições a serem mensuradas nas mesmas, considerando que o aparelho é fixado em um tripé que possui altura fixa, e para tais medidas, exige que o medidor use de postura incorreta para conseguir visualizar o fuste em tais posições.

A presença de galhos nas posições mais elevadas do fuste também pode exercer influência sobre os maiores erros nas medições de diâmetros em tais posições, pois sob essas condições tem-se dificuldade de visualização do tronco. Tal constatação sugere que a utilização do aparelho para cubagem rigorosa em monocultivos de espécies florestais em que não se realiza a desrama artificial, ou não apresente desrama natural, possa ser comprometida pela dificuldade de visualização do fuste nas posições com presença de galhos.

Segundo Kalliovirta et al. (2005) os principais fatores influentes nos acréscimos do erro nas medições não-destrutivas

são: povoamentos muito densos e com elevada ramificação, presença de líquens e casca parcialmente solta no tronco.

Além disso, em algumas condições de luminosidade do povoamento tem-se maior dificuldade de visualização da banda do aparelho, podendo também exercer influência nos erros em medições das posições mais altas do fuste, onde se exige maior inclinação do instrumento, sendo mais influenciado pelas condições de luminosidade do que nas medições efetuadas na parte inferior do fuste.

Willians et al. (1999) reporta a influência das condições de luminosidade do povoamento como agravantes na obtenção de erros de medição por parte de dendrômetros ópticos. O autor relata ainda que um dos maiores problemas na visualização dos troncos das árvores com o relascópio a *laser* é a paisagem que se encontra atrás desse indivíduo, tendo-se dificuldades de visualização em cultivos de mesma espécie quando se tem o agrupamento de fustes ao fundo da mesma.

Rodriguez et al. (2013) constataram que o efeito do operador sobre os erros de volume absoluto e relativo não foram significativos nas medições realizadas com o Criterion RD1000. Willians et al. (1999) inferem resultados semelhantes relatando que não houve tendência evidente nos erros, em medidas realizadas com o Criterion 400 para diâmetro ao longo do fuste.

Ao examinarem a precisão das medidas de diâmetros ao longo do fuste com o Criterion 400, Freitas e Wichert (1998) citam como principais fontes de erro do aparelho: dificuldade de visualização do topo das árvores; dificuldades de ler com precisão os valores dos retículos da luneta para a medição dos diâmetros; falhas de reflexão das ondas emitidas pelo aparelho, principalmente se as folhas das árvores estiverem molhadas e se houver presença de sub-bosque muito denso e, por fim, cansaço físico devido ao peso do aparelho que tem em torno de quatro kg, sendo que esse efeito pode ser amenizado com a utilização de tripé. O Criterion RD1000 apresenta vantagem

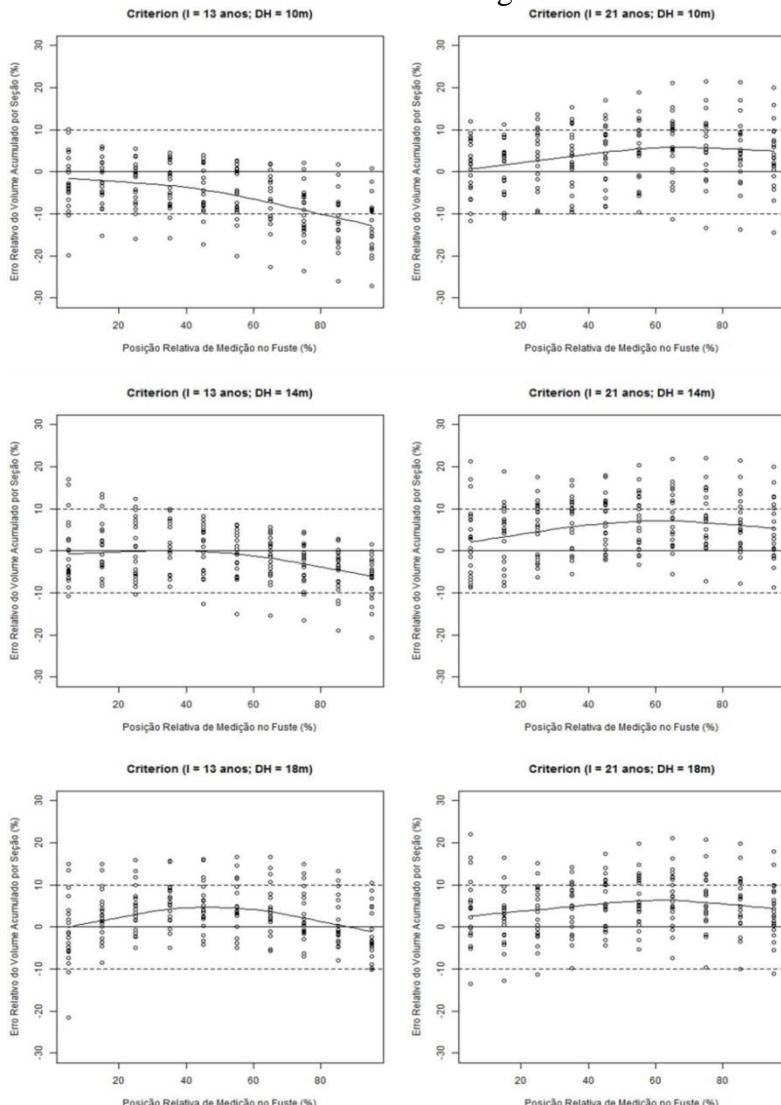
em relação ao Criterion 400 quando se considera o peso, uma vez que o mesmo pesa em torno de 500 g, o que diminui em partes o cansaço físico por parte do medidor, sem o uso do tripé.

Analizando-se o erro relativo do volume acumulado por seção (%) em função da posição relativa no fuste (%) em que foram obtidos os diâmetros por meio do Criterion (Figura 7). Percebe-se para a idade de 21 anos, comportamento semelhante para as diferentes DH's, tendo-se para todas elas, leve subestimativa do volume acumulado. Como se pode notar, nas três situações os erros médios são inferiores a 10%, sugerindo precisão aceitável nas estimativas de volume.

A subestimativa crescente até a posição de 65% do fuste é explicada pelos erros nos diâmetros, que também são subestimados até essa posição. A partir dessa posição há uma estabilização na curva dos erros relativos de volume acumulado por seção para essa idade. Nas posições de 75, 85 e 95% tem-se superestimativa dos diâmetros, essas, porém, não concebem maior impacto sobre a curva por se tratar de uma porção da árvore que representa uma menor proporção do volume total, sendo essa em média 5,10%.

Na idade de 13 anos percebem-se maiores erros na DH de 10 m, sendo que esses indicam a superestimativa do volume acumulado por seção, uma vez que se tem em média para todas as posições superestimativas nos diâmetros. Para a DH de 14 m nota-se superestimativas menos acentuadas, porém, também crescentes no sentido das maiores alturas das árvores. Os menores erros são observados na DH de 18 m, tendo-se subestimativas crescentes até a posição aproximada de 45% do fuste. A partir dessa, a curva sofre declínio até a última posição de medição, sendo essa explicada pela superestimativa dos diâmetros a partir da mesma.

Figura 7 – Erro relativo dos volumes acumulados por seção (%) em relação à posição relativa de medição no fuste (%). Onde: linhas pontilhadas demarcam erros relativos menores ou iguais a 10%.



Fonte: produção do próprio autor

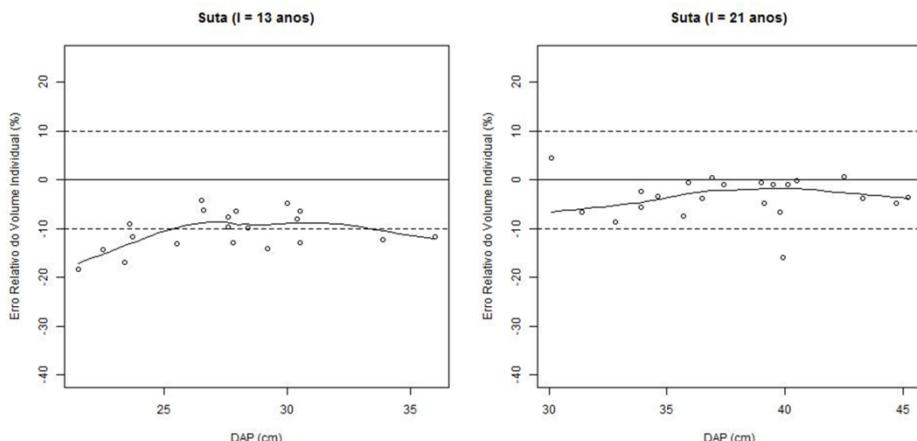
De forma geral, a DH de 18 m apresentou melhores resultados para ambas as idades estudadas, uma vez que são as curvas que mais se aproximam da linha de erro igual à zero na última posição do fuste. Nessa DH têm-se erros relativos médios para volume acumulado por seção de 2,76 e 4,95% para as idades de 13 e 21 anos, respectivamente. Esses erros são explicados principalmente pelos erros nas estimativas dos diâmetros ao longo do fuste.

3.3.5 Erros do volume individual das árvores

Verificaram-se os erros relativos do volume individual das árvores nas estimativas realizadas por meio da cubagem destrutiva com o uso de sutas e cubagem não-destrutiva por meio do Criterion RD1000 em relação à xilometria dos fustes. A Figura 8 demonstra o comportamento dos erros relativos referentes ao volume individual das estimativas obtidas através da cubagem destrutiva com sutas em relação ao volume real obtido através do xilômetro.

A cubagem rigorosa destrutiva apresentou melhor exatidão nas estimativas de volume individual na idade de 21 anos, apresentando leve tendência no comportamento de seus erros à superestimativas nos menores DAP's. Tendência essa, que se mostrou mais acentuada para a idade de 13 anos, onde os erros relativos nos menores diâmetros foram maiores em relação aos demonstrados na idade de 21 anos. Para tal idade, nota-se ainda, que há uma estabilização na curva dos erros nos DAP's intermediários observados (26 a 30 cm), seguida de leve tendência a superestimativa dos diâmetros maiores que 33 cm. Os erros relativos médios do volume individual apresentados pela cubagem destrutiva foram de -10,54 e -3,46%, para as idades de 13 e 21 anos, respectivamente, o que infere em volumes individuais superestimados em ambas as idades.

Figura 8 – Erro relativo dos volumes individuais (%) obtidos pela cubagem rigorosa destrutiva comparada ao método de xilometria, em relação ao DAP das árvores, para as idades de 13 e 21 anos. Onde: linha sólida assinala erros absolutos iguais a zero e linhas pontilhadas demarcam a área em que os erros relativos são menores ou iguais a 10%.



Fonte: produção do próprio autor

Os resultados dos erros de volume individual referentes à cubagem não-destrutiva nas diferentes idades e DH's em relação a xilometria dos fustes, são apresentados na Tabela 4. Na idade de 13 anos houve tendência à diminuição dos erros com o aumento da DH. Já para a idade de 21 anos não houve tendência evidente, uma vez que o erro médio na DH de 14 m foi maior comparado a DH de 10 m. Porém, ambas as idades obtiveram menores erros no volume individual das árvores na DH de 18 m.

Considerando-se a DH de 18 m, percebe-se para a idade de 13 anos um erro médio de superestimativa dos volumes individuais. Os resultados apresentados nessas estimativas são

muito próximos às obtidas pela cubagem destrutiva, apresentando erro médio 1,32% superior à mesma.

Tabela 4 – Erros absolutos e relativos médios (\pm desvio padrão) da cubagem não-destrutiva em relação à xilometria dos fustes.

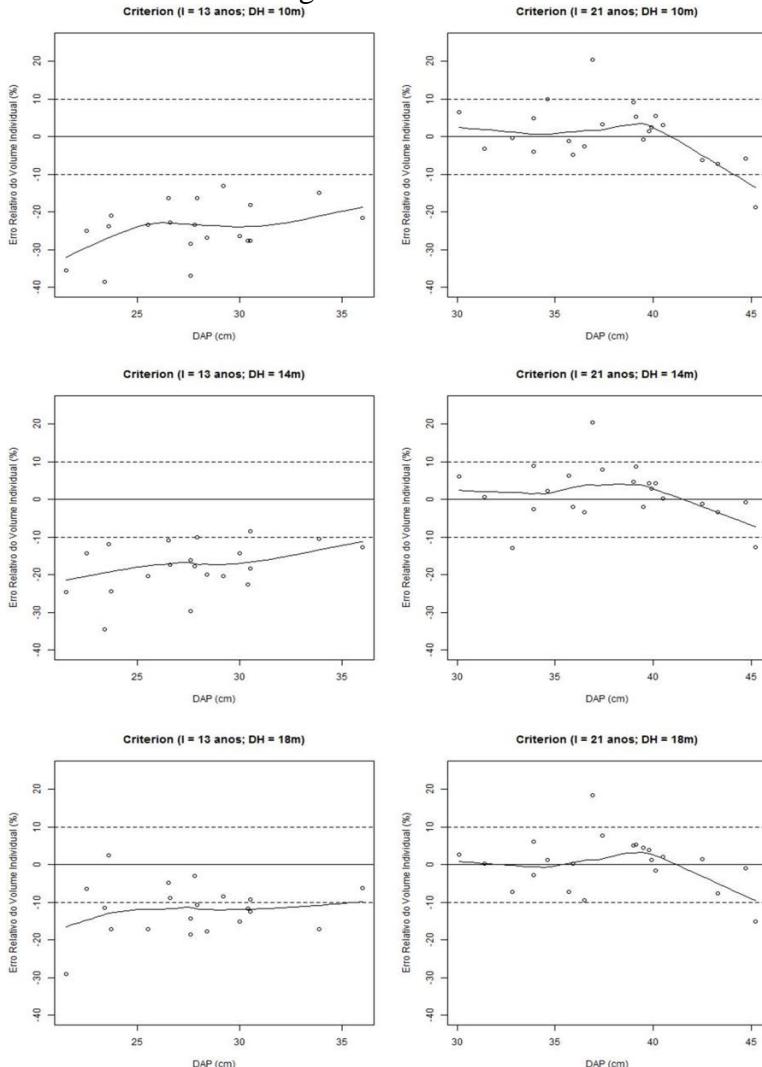
Idade (anos)	DH (m)	Erro Absoluto médio (m^3)	Erro Relativo médio (%)
13	10	-0,1069 (\pm 0,0335)	-24,37 (\pm 7,04)
13	14	-0,0776 (\pm 0,0268)	-17,96 (\pm 6,81)
13	18	-0,0519 (\pm 0,0274)	-11,86 (\pm 6,87)
21	10	0,0025 (\pm 0,1196)	0,77 (\pm 7,78)
21	14	0,0210 (\pm 0,1002)	1,67 (\pm 7,21)
21	18	0,0013 (\pm 0,1053)	0,35 (\pm 7,02)

Fonte: produção do próprio autor

Entretanto, para a mesma DH na idade de 21 anos tem-se um erro médio do volume individual ainda menor, sendo que esse apresentou comportamento diferenciado em relação ao erro médio observado na cubagem destrutiva para a mesma idade. Enquanto a cubagem destrutiva ofereceu erros de superestimativas do volume individual na ordem de -3,46%, a cubagem não-destrutiva apresentou erros médios de subestimativas do mesmo na ordem de 0,35% em relação ao método do xilômetro.

Verificando os erros relativos dos volumes individuais da cubagem não-destrutiva em relação aos DAP's dos indivíduos (Figura 9). Na idade de 13 anos, notam-se comportamentos semelhantes das curvas para as diferentes DH's, onde se inferem maiores erros relativos de superestimativas dos volumes individuais para árvores de menores DAP's. Com o aumento da DH observa-se que a curva dos erros se aproxima do eixo zero, indicando menores erros para a DH de 18 m, como demonstrado na Tabela 4.

Figura 9 – Erro relativo dos volumes individuais (%) obtidos pela cubagem rigorosa não-destrutiva, em relação ao DAP das árvores. Onde: linhas pontilhadas demarcam a área em que os erros relativos são menores ou iguais a 10%.



Fonte: produção do próprio autor

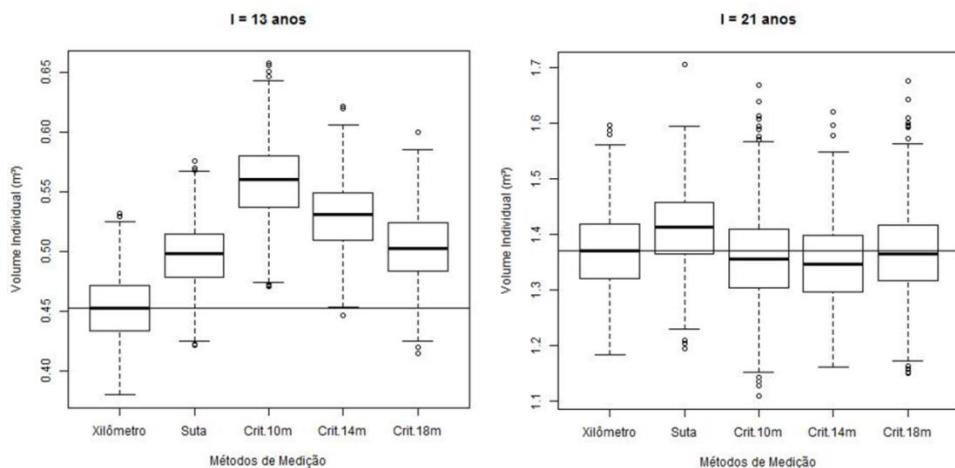
As estimativas volumétricas por indivíduo para a idade de 21 anos apresentaram comportamento distinto ao observado na idade anteriormente citada. Observou-se para as DH's de 10 e 14 m tendência a subestimativas dos menores diâmetros até 40 cm, enquanto acima desses foram notadas superestimativas dos mesmos. Já para a DH de 18 m observa-se que os erros são em média praticamente iguais à zero para DAP's menores do que 35 cm, tendo-se leves subestimativas dos volumes individuais para DAP's compreendidos entre 35 e 41 cm e superestimativas para DAP's maiores que 41 cm.

Segundo Rodriguez et al. (2013) quando consideram-se diferentes distâncias entre o observador e a árvore a ser medida na cubagem não-destrutiva, há uma forma de compensação entre os erros de diâmetros e altura, para o cálculo do volume. Desta forma, há menores erros em diâmetros em distâncias menores (Williams et al., 1999) e menores erros em altura em distâncias maiores de medição (Skovsgaard et al., 1998).

Nicoletti (2011) encontrou resultados distintos em seu trabalho utilizando o Criterion 400 para a cubagem de *Eucalyptus grandis* até 8 metros de altura, inferindo maiores erros de subestimativa para volume individual em maiores DAP's. Em contrapartida o erro relativo médio em volume por árvore encontrados pelo mesmo autor se mostraram inferiores aos 10%, o que também foi observado no presente trabalho para as estimativas realizadas na idade de 21 anos.

Por meio da reamostragem realizada pelo método de *Bootstrap* para análise do erro de volume individual ($m^3 \text{ ind.}^{-1}$) pode-se observar as diferenças entre os mesmos, considerando cada método de cubagem estudado na Figura 10.

Figura 10 – Gráfico boxplot obtido por meio das simulações do método *Bootstrap* demonstrando a distribuição dos volumes individuais, considerando os métodos da xilometria (Xilômetro), cubagem destrutiva (Suta) e cubagem não-destrutiva com Criterion RD1000 na distância horizontal de 10 m (Crit.10m), 14 m (Crit.14m) e 18 m (Crit.18m). Onde: linhas sólidas são a média do volume individual (m^3 ind-1) obtido pela xilometria dos fustes (volume real).



Fonte: produção do próprio autor

Nota-se que na idade de 13 anos foi encontrada maior variabilidade nos volumes individuais para cada método de cubagem, em relação aos resultados apontados pela xilometria, quando comparada à idade de 21 anos. Na mesma idade observa-se dentre os métodos estudados, que as estimativas oriundas da cubagem destrutiva com a utilização de suta foram em geral, as que mais se aproximaram do volume individual obtido através do xilômetro, seguida pela cubagem não-destrutiva realizada a distância de 18 m entre o medidor e a árvore. Ressalta-se que as estimativas não-destrutivas obtidas

por tal distância apresentaram erro médio levemente superior às estimativas obtidas pela cubagem destrutiva.

Para a idade de 21 anos têm-se resultados distintos, uma vez que todas as estimativas obtidas pela cubagem não-destrutiva mostraram resultados mais exatos em relação à cubagem destrutiva, quando comparados ao método do xilômetro. As melhores estimativas foram obtidas na DH de 18 m, sendo essa um pouco mais precisa que os demais métodos estudados para a estimativa do volume individual.

Esse fato pode ser atribuído a uma compensação nos volumes das partes inferiores do fuste em relação às superiores quando se consideram todas as DH's testadas na idade de 21 anos e, a DH de 18 m na idade de 13 anos (Figura 6). Nas medições obtidas por esses métodos, pode-se observar que nas posições mais baixas do fuste há subestimativas dos diâmetros, enquanto nas maiores posições há superestimativas dos mesmos (Figura 4).

Como a fórmula proposta por Hohenadl não considera a porção superior da árvore como um cone, a mesma possui maior participação no volume individual da árvore como um todo, dessa forma age compensando as subestimativas das menores posições do fuste.

Castro et al. (2008) ao testarem o Criterion 400 na cubagem de árvores em pé, inferem uma amplitude nos erros de volumes individuais em relação a cubagem realizada com a sutura de $\pm 30\%$, sendo que as árvores menores tiveram volumes superestimados, enquanto as árvores de tamanho intermediário tenderam a ter volumes subestimados.

Entretanto, Oliveira et al. (2013) ao utilizarem o relascópio digital Criterion RD1000 para estimativas volumétricas, apontam erros relativos médios de aproximadamente 2,5%, concluindo que não houveram diferenças significativas entre os resultados observados nas cubagens destrutiva e não-destrutiva.

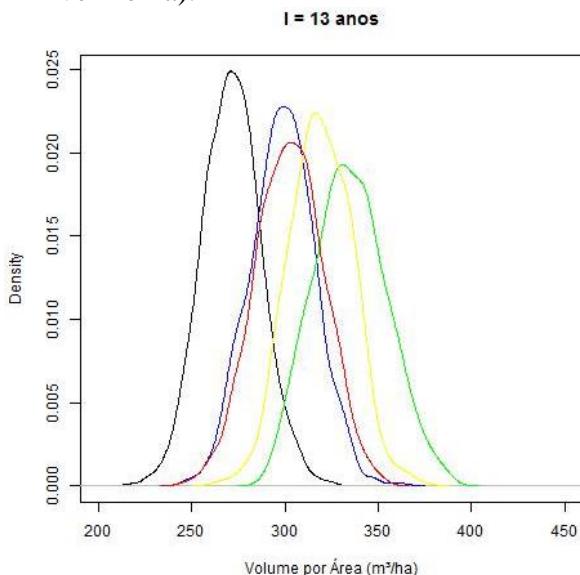
Segundo Williams et al. (1999) embora as magnitudes dos erros das medições de diâmetro e altura pareçam pequenas, essas podem ter impacto significativo sobre o ajuste de equações volumétricas e na determinação da conicidade das árvores e, consequentemente, na estimativa do volume das mesmas.

3.3.6 Erros do volume por unidade de área

A partir da simulação efetuada para os volumes individuais, procedeu-se com o cálculo do volume por área para cada método de cubagem estudado, com a finalidade de extrapolar os resultados por unidade de área e estabelecer intervalos ao nível de 95% de confiança para os mesmos. Os resultados referentes ao volume por hectare para a idade de 13 anos podem ser visualizados na Figura 11.

Na idade de 13 anos, obteve-se um volume real (xilômetro) variando de aproximadamente 241 a 303 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Os resultados que mais se aproximaram foram oriundos da cubagem destrutiva seguida da cubagem não-destrutiva a DH de 18 m, que apresentaram intervalos estimados de volume de aproximadamente 266 a 332 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e 268 a 337 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente. Os resultados da cubagem não-destrutiva na DH de 18 m podem ser considerados satisfatórios, uma vez que os mesmos foram muito próximos à cubagem destrutiva. Ambas as estimativas superestimaram o volume total por hectare em relação ao método do xilômetro.

Figura 11 – Curvas obtidas por meio da reamostragem pelo método de *Bootstrap* para a idade de 13 anos representando o volume por hectare ($m^3 ha^{-1}$), fornecidos pelo método do xilômetro (linha preta); cubagem destrutiva (linha azul); cubagem não-destrutiva nas DH = 10 m (linha verde), DH = 14 m (linha amarela) e DH = 18 m (linha vermelha).

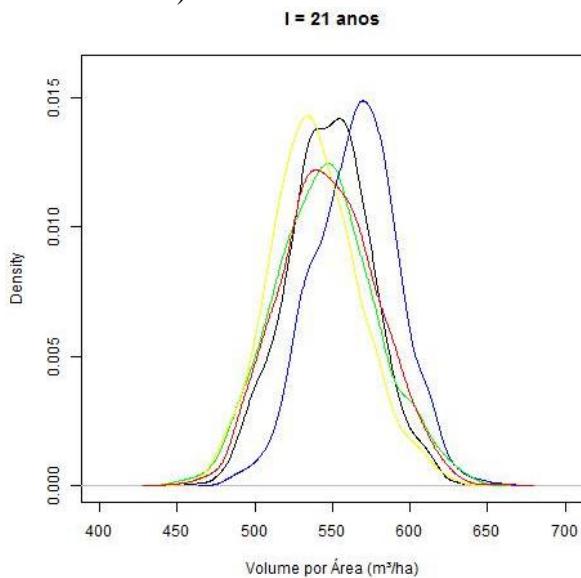


Fonte: produção do próprio autor

Para a idade de 21 anos (Figura 12), observa-se menor disparidade entre as curvas, podendo-se considerar que as estimativas oriundas da cubagem não-destrutiva foram mais exatas que a cubagem destrutiva, quando comparadas a xilometria dos fustes. A cubagem não-destrutiva nas DH's de 10, 14 e 18 m, apresentaram intervalos de estimativa volumétrica de 480 a 605 $m^3 ha^{-1}$; 481 a 597 $m^3 ha^{-1}$ e 487 a 607 $m^3 ha^{-1}$, respectivamente. O intervalo gerado pela cubagem

destrutiva foi de 512 a 618 m³ ha⁻¹, já o volume real obtido através do xilômetro foi de 496 a 600 m³ ha⁻¹.

Figura 12 – Curvas obtidas por meio da reamostragem pelo método de *Bootstrap* para a idade de 21 anos representando o volume por hectare (m³ ha⁻¹), fornecidos pelo método do xilômetro (linha preta); cubagem destrutiva (linha azul); cubagem não-destrutiva nas DH = 10 m (linha verde), DH = 14 m (linha amarela) e DH = 18 m (linha vermelha).



Fonte: produção do próprio autor

Nicoletti (2011) encontrou resultados menos precisos para volume total por área fazendo o uso do Criterion 400. Ainda assim, o autor considerou os resultados semelhantes aos obtidos através da cubagem destrutiva, inferindo intervalos de 350 a 420 m³ ha⁻¹ para a estimativa obtida por meio da cubagem destrutiva e 300 a 370 m³ ha⁻¹ para a cubagem não-

destrutiva. Em estudo semelhante, fazendo o uso do mesmo dendrômetro, Castro et al. (2008) inferiram erros médios relativos praticamente nulos na estimativa do volume total por parcela, sendo esses de aproximadamente 0,71%.

Kalliovirta et al. (2005) obtiveram superestimativas médias de $2,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (1,4%) ao usarem o relascópio a *laser* na cubagem de árvores em pé e um erro padrão de $4,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (2,8%). Inferindo que esse erro foi dependente da área basal das árvores e as estimativas volumétricas foram precisas.

Sabe-se que, em geral, o erro amostral máximo aceitável em inventários florestais é de 10% em relação ao volume total. Sendo assim, percebe-se que as cubagens não-destrutivas no presente estudo forneceram estimativas confiáveis de volume total, em todas as DH's abordadas para a idade de 21 anos e para a DH de 18 m na idade de 13 anos, visto que na idade de 13 anos até mesmo as estimativas oriundas de cubagens destrutivas possuíram erros médios elevados.

3.3.7 Análise dos tempos gastos nas cubagens não-destrutivas

Na análise dos tempos gastos considerando os fatores idade e DH, não foi detectada interação entre os mesmos (Tabela 5).

Não houve diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade nos tempos gastos para diferentes DH's estudadas, sendo que os tempos médios gastos para a cubagem dos indivíduos foi de 294, 280 e 269 segundos, para as DH's de 10, 14 e 18 m, respectivamente. São observados menores valores de tempo gasto nas maiores DH's, isso se deve ao fato da dificuldade de medir as maiores posições da árvore nas menores DH's, uma vez que o trabalho exige de má postura por parte do medidor, o que torna o trabalho mais lento.

Tabela 5 – Análise de variância (ANOVA) para os tempos gastos na cubagem não-destrutiva no esquema fatorial, considerando os fatores idade (13 e 21 anos) e DH (10, 14 e 18 m). Onde: ** significativo ao nível de 1% de significância; ^{ns} não significativo ao nível de 5% de significância.

Fonte de Variação	GL	Valor de F	Pr > Fc
Idade	1	70,85	0,00**
DH	2	1,66	0,19 ^{ns}
Idade x DH	2	0,159	0,85 ^{ns}
Erro	114	-	-
Total	119	-	-

Fonte: produção do próprio autor

Entretanto os mesmos se mostraram diferentes quando se consideram as idades de 13 e 21 anos (Tabela 6).

Tabela 6 – Teste de médias de Tukey para a comparação dos tempos gastos nas cubagens não-destrutivas nas idades de 13 e 21 anos. Onde: médias seguidas de letras diferentes diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Idade	Tempo (s)
13	234 b
21	328 a

Fonte: produção do próprio autor

Esse comportamento é explicado pela maior onerosidade nas medições das árvores de maior altura, referentes à idade de 21 anos, uma vez que a maior parte do tempo gasto se deve às medições dos diâmetros nas posições mais elevadas do fuste e quanto mais altas essas, maior o tempo gasto nas medições.

3.4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos no presente trabalho pode-se concluir que:

- Nas medições dos diâmetros, o Criterion RD1000 apresentou erros aceitáveis até a posição de 75% do fuste quando se consideram os erros médios, para ambas as idades e distâncias estudadas, sendo que os mesmos apresentaram-se, em média, inferiores a 10%. Porém, nas posições mais elevadas do mesmo os erros de superestimativas foram muito elevados, o que sugere que o equipamento não deve ser usado para medições nas posições de 85% e 95% das árvores, as quais possuem menores diâmetros.
- Os erros na medição do diâmetro tenderam a aumentar para diâmetros menores que 15 cm em ambas as idades e DH's estudadas, superestimando os mesmos em relação aos valores obtidos nas medições com suta.
- Quando se considera a estimativa volumétrica, percebe-se que houve diferença entre os erros obtidos para as diferentes idades e DH's estudadas, sendo que em geral, as estimativas para a idade de 21 anos se mostraram mais exatas, em comparação às de 13 anos.
- Na idade de 13 anos a DH de 18 m apresentou os resultados mais precisos para volume individual e total considerando as estimativas não-destrutivas, sendo esses muito semelhantes aos obtidos pela cubagem destrutiva, enquanto as demais distâncias não se mostraram aptas a serem utilizadas devido à alta superestimativa dos volumes em relação ao volume real. Para essa idade, ambas as metodologias (cubagem

destrutiva e não-destrutiva) não obtiveram erros menores do que 10% para volume individual e total na idade de 13 anos.

- Considerando as estimativas volumétricas para a idade de 21 anos têm-se menores erros nas cubagens não-destrutivas nas três DH's estudadas em relação a cubagem destrutiva, sendo que a DH de 18 m apresentou resultados ligeiramente mais precisos em comparação as demais distâncias estudadas.
- Os tempos de medição diferiram significativamente entre as duas idades estudadas, sendo que as medições na idade de 21 anos se mostraram mais onerosas quando comparadas às de 13 anos de idade. Diferentemente, quando se consideraram as DH's não foram observadas diferenças significativas, o que sugere que a altura da árvore influencia mais nos tempos de medição do que a DH.

4 CAPÍTULO II - FATORES DE CONVERSÃO ENTRE UNIDADES DE VOLUME SÓLIDO E MASSA PARA POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L. EM DIFERENTES IDADES, SORTIMENTOS E PERÍODOS DE ESTOCAGEM

4.1 INTRODUÇÃO

A quantificação da madeira para comercialização sofreu mudanças metodológicas nas últimas décadas, considerando a maioria das empresas florestais. Uma vez que a mesma era dada por medidas de volume de madeira empilhada (estéreo) e passou a ser efetuada pela pesagem de caminhões, se tornando um processo rápido, fácil e de baixo custo, uma vez que, em geral, evita a medição individualizada de toras.

Em contrapartida, os controles dos estoques das empresas são realizados através de inventários florestais, que fornecem uma estimativa do volume de madeira por área reflorestada. Desta forma, é importante para as empresas estabelecer relações concretas e confiáveis a respeito de fatores que venham a subsidiar a conversão entre unidades de volume sólido e massa, para estimativas do escoamento de sua produção com base no volume da floresta em pé.

Para tal, é comum por parte de algumas empresas a adoção de fatores de conversão médios, que na maioria das vezes consideram que uma tonelada de madeira seja o equivalente a um metro cúbico da mesma, independentemente de suas idades, sortimentos e ainda, sem considerar se essa madeira ficou estocada por algum período de tempo. A adoção de fatores de conversão médios, sem amostragem específica para o local, pode acarretar em erros grosseiros nas estimativas desejadas (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

A pesagem de toras para a comercialização apresenta alguns problemas, considerando que a madeira é em grande parte composta por água (BATISTA; COUTO, 2002). Em

situações de campo é comum observar que caminhões carregados com praticamente o mesmo volume de madeira difiram amplamente em suas massas, quando se trata de toras oriundas de árvores recém-cortadas e toras submetidas a estocagem por determinado período de tempo. Neste caso, a madeira vendida logo após a colheita tende a apresentar massa superior à que foi submetida à estocagem, considerando volumes de madeira semelhantes.

Neste contexto, é importante considerar que a massa da madeira decresce rapidamente em função da perda de água após sua derrubada e processamento (AVERY; BURKHART, 1997). Da mesma forma, no processo de secagem, a madeira sofre variações nas suas dimensões, resultando em modificações volumétricas. Essas modificações ocorrem apenas em teores de água inferiores a 28% (ponto de saturação das fibras), sendo a madeira praticamente estável, com pequenas variações volumétricas acima deste valor (REZENDE, 2003). O processo inverso também ocorre quase na mesma proporção, ocasionando um aumento do volume do material com o aumento da teor de água (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985). Sendo assim, as variações na massa e no volume da madeira não são diretamente proporcionais, o que culmina em mudanças nas relações entre ambas unidades.

Os fatores que influenciam a perda de água da madeira são basicamente relacionados às condições climáticas vigentes e características inerentes a madeira. As condições climáticas basicamente são compostas por temperatura, umidade relativa e circulação do ar. Enquanto as características da madeira estão relacionadas à espécie, dimensões das peças e porcentagem de cerne e alburno (MARTINS, 1988).

Devido à redução da massa da madeira com a secagem, em sistemas de colheita e transporte “frio” de madeira é vantajoso esperar um determinado tempo para transportar a mesma ao destino final, visando à redução do custo de transporte. Contudo, caso a madeira seja utilizada úmida

proporciona uma redução no desgaste de equipamentos processadores, como picadores e serras (BARROS, 2006).

A partir do exposto e considerando que o empilhamento e a estocagem de madeira a céu aberto são procedimentos comuns no processo de produção industrial brasileiro, o presente trabalho tem como objetivos determinar fatores de conversão entre unidades de volume sólido e massa considerando diferentes idades, sortimentos e períodos de estocagem para a espécie *Pinus taeda* L.. Além disso, buscouse verificar as relações dos Fcv-m com as condições climáticas no período de observações e gerar equações para estimativa dos mesmos.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização e caracterização da área de estudo

Os dados de localização e caracterização climática da área são os mesmos apresentados no Capítulo I (item 3.2.1., p. 32 - 33).

Na área de estudo, foram analisados povoamentos de *Pinus taeda* L. com idades de aproximadamente nove e 21 anos, que foram plantados nos meses de julho de 2005 e agosto de 1993, respectivamente. O espaçamento utilizado pela empresa foi de 2,5 m x 2,5 m, totalizando 1600 ind. ha⁻¹. O povoamento de nove anos ainda não havia sofrido nenhuma intervenção de desbaste, enquanto o povoamento de 21 anos já havia sido submetido a três desbastes, sendo eles nas idades de oito anos (retirada de aproximadamente 670 ind. ha⁻¹), aos 11 anos (retirada de aproximadamente 397 ind. ha⁻¹) e 15 anos (retirada de aproximadamente 213 ind. ha⁻¹), possuindo como remanescentes aproximadamente 320 ind. ha⁻¹.

4.2.2 Instalação do experimento e coleta de dados

Na instalação do experimento foram considerados diferentes sortimentos da ponta fina das toras, com a finalidade de detectar possíveis variações nas relações entre as unidades de massa e volume sólido entre os mesmos. Foram levados em consideração os sortimentos usados pela empresa na qual se realizou o estudo, tendo-se dois e quatro sortimentos, para as idades de nove e 21 anos, respectivamente. Assim, foram analisados os seguintes sortimentos: sortimento 1 (S1) para toras com diâmetro de 8 a 18 cm; sortimento 2 (S2) para diâmetros de 18 a 24 cm; sortimento 3 (S3) para diâmetros de 24 a 35 cm; e sortimento 4 (S4) para toras com mais de 35 cm de diâmetro (Tabela 7). O comprimento das toras utilizado foi de 3,10 m.

Tabela 7 – Idades e respectivos sortimentos na ponta fina das toras utilizados no experimento.

Sortimentos	Idades (anos)	
	9	21
1	8 - 18 cm	8 - 18 cm
2	18 - 24 cm	18 - 24 cm
3	-	24 - 35 cm
4	-	> 35 cm

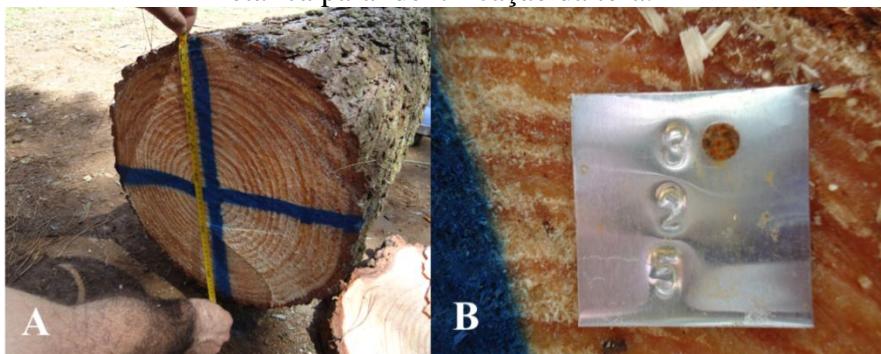
Fonte: produção do próprio autor

As árvores escolhidas para o experimento foram derrubadas, desgalhadas e traçadas com o auxílio de motosserra marca Stihl, modelo MS-361. Posteriormente, as toras foram empilhadas na beira do talhão para estocagem, sendo estas separadas por sortimentos dentro de cada idade. Toda a instalação do experimento foi realizada por meio de trabalho manual.

Foram amostradas 15 toras de cada sortimento em cada idade, o que culminou na formação de três repetições de cinco toras para cada um desses. Portanto, obteve-se um total de 90 toras amostradas.

As toras tiveram suas posições de medição do diâmetro demarcadas para que as medidas fossem tomadas sempre nas mesmas posições e ainda foram identificadas com placas metálicas (Figura 13).

Figura 13 – Toras utilizadas no experimento, no município de Ponte Alta do Norte – SC. Onde: A: marcação da posição de medição de diâmetros; B: placa metálica para identificação da tora.



Fonte: produção do próprio autor

A distribuição espacial das pilhas foi realizada por meio de aleatorização, sendo as toras alocadas perpendicularmente a estrada que passava na beira do talhão, simulando condições reais de colheita (Figura 14A).

Realizaram-se medições de diâmetros cruzados, tanto na ponta fina, quanto na ponta grossa de cada tora com o auxílio de fita métrica, além do diâmetro no centro da tora e comprimento da mesma, sendo esses obtidos por meio de sutas e trenas, respectivamente. Efetuou-se também, a pesagem das

toras por meio de balança digital com capacidade de 500 kg e talha elétrica suspensa em quadripé (Figura 14B).

Figura 14 – A: Reprodução fotográfica da área do experimento.
B: Pesagem de tora com o auxílio de balança digital e talha elétrica suspensa por quadripé.



Fonte: produção do próprio autor

As medições e pesagens foram realizadas no momento da instalação do experimento, quando as árvores foram derrubadas e processadas. Posteriormente, foram efetuadas medições periódicas semanais durante o primeiro mês e, mensais durante um período de três meses. Assim, as mesmas foram executadas aos 0, 7, 14, 21, 28, 60 e 90 dias de estocagem da madeira, totalizando sete medições. O período compreendido na coleta de dados foi de 26 de fevereiro a 28 de maio no ano de 2014, abrangendo a estação do outono.

O volume individual (v) por tora foi calculado pelo método de Smalian, que considera as áreas transversais das extremidades da tora e seu comprimento (Expressão 4).

$$v = \left(\frac{g_i + g_{i+1}}{2} \right) * l \quad (\text{Expressão 4})$$

Onde: g_i e g_{i+1} são as áreas transversais (m^2) da ponta fina e ponta grossa, respectivamente e l é o comprimento da tora (m).

As áreas transversais foram calculadas a partir da Expressão 4.1.

$$g = \frac{\pi * d^2}{4} \quad (\text{Expressão 4.1})$$

Onde: g é a área transversal (m^2) e d é o diâmetro da extremidade da tora (m).

Tendo-se o volume e a massa individuais de cada tora, procedeu-se com o cálculo dos fatores de conversão de volume sólido para massa ($F_{C_{v-m}}$) para os diferentes períodos de estocagem. Sendo este o valor pelo qual se multiplica dado volume e obtém-se o valor estimado da massa de determinada quantidade de madeira. Ou ainda, pode-se obter uma estimativa do volume a partir da massa, pela simples razão entre a massa da madeira e o $F_{C_{v-m}}$. O $F_{C_{v-m}}$ foi calculado pela Expressão 5.

$$F_{C_{v-m}} = \frac{m}{v} \quad (\text{Expressão 5})$$

Onde: m é a massa da tora (t) em dado período de tempo e v é o volume da tora (m^3) em dado período de tempo.

4.2.3 Teor de água inicial e atual da madeira

Com o intuito de acompanhar a secagem das toras optou-se por determinar o teor de água inicial da madeira, o que possibilita o acompanhamento da variação da umidade da mesma durante o período de exposição.

Após a derrubada das árvores amostraram-se discos com espessura aproximada de 5 cm com, em diferentes posições dos fustes para que todos os sortimentos fossem amostrados. Foram amostrados quatro discos por sortimento analisado, em cada uma das idades, resultando em uma amostra total de 24 discos.

A determinação da massa úmida (m_u) dos discos ocorreu a campo, logo após o corte dos mesmos, fazendo-se o uso de balança de precisão, evitando dessa forma que os

mesmos pudessem perder água até a chegada ao laboratório. Após a determinação da massa úmida, os discos foram encaminhados à secagem em estufa, na qual ficaram dispostos até o momento de estabilização de suas massas, sendo posteriormente realizada nova pesagem, pela qual se obteve a massa seca (m_s).

O teor de água inicial (TA_i) foi calculado por meio da Expressão 6.

$$TA_i = \frac{m_u - m_s}{m_s} * 100 \quad (\text{Expressão 6})$$

Onde: TA_i : teor de água inicial da madeira (%); m_u : massa úmida da madeira (g) e m_s : massa seca da madeira (g).

Tendo-se os teores de água inicial e as massas das toras periodicamente, possibilitou-se o cálculo dos teores de água atual da madeira estocada para cada sortimento (Expressão 7), permitindo o acompanhamento da mesma ao longo do período de estudo.

$$TA_a = \frac{m_a (TA_i + 100)}{m_i} - 100 \quad (\text{Expressão 7})$$

Onde: TA_a : teor de água atual da madeira em dado período de tempo (%); m_a : massa atual (kg); TA_i : teor de água inicial (%); m_i : massa inicial (kg).

4.2.4 Massa específica básica da madeira

A amostragem para determinação da massa específica básica da madeira também foi realizada por meio de discos cortados ao longo do fuste das árvores derrubadas. Foram coletados quatro discos por sortimento em cada uma das idades, dos quais foram cortadas duas cunhas com o uso de

serra fita vertical. A amostragem totalizou 48 cunhas de madeira.

Posteriormente ao corte das cunhas as mesmas foram devidamente identificadas e submersas em água por aproximadamente três meses, para total saturação. Em seguida foi efetuada a remoção da casca. A massa específica básica foi então determinada de acordo com os procedimentos prescritos na Norma COPANT 461/1972 – *Método de determinación del peso específico aparente* – a qual relaciona a massa seca da amostra (0% de umidade) e seu volume totalmente saturado (Expressão 8).

$$\rho = \frac{m_{0\%}}{v_{saturado}} \quad (\text{Expressão 8})$$

Onde: ρ : massa específica básica da madeira (g cm^{-3}); $m_{0\%}$: massa da cunha de madeira a 0% de umidade; $v_{saturado}$: volume da cunha de madeira (cm^3).

4.2.5 Dados meteorológicos

Os dados referentes às condições atmosféricas no período das observações foram oriundos da estação meteorológica da própria empresa na qual se realizou o estudo.

As variáveis climáticas foram analisadas em seis situações, considerando de um dia retroativo até seis dias retroativos às medições e pesagens, com a finalidade de determinar qual a influência dessas variáveis sobre as relações entre unidades de volume sólido e massa. Para as variáveis temperatura e umidade relativa do ar foram utilizadas as médias aritméticas para cada período considerado, enquanto considerou-se o somatório das chuvas em cada período para a variável precipitação. As variáveis climáticas coletadas para o presente estudo podem ser observadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Variáveis climáticas coletadas consideradas no estudo, obtidas na estação meteorológica da empresa no município de Ponte Alta do Norte – SC.

Variável Climática	Símbolo	Unidade
Temperatura Ambiente às 9 horas	T° A 9h	graus Celsius (C°)
Temperatura Ambiente às 13 horas	T° A 13h	graus Celsius (C°)
Temperatura Ambiente às 17 horas	T° A 17h	graus Celsius (C°)
Temperatura Ambiente média	T° A méd	graus Celsius (C°)
Temperatura Máxima às 9 horas	T° Máx 9h	graus Celsius (C°)
Temperatura Máxima às 13 horas	T° Máx 13h	graus Celsius (C°)
Temperatura Máxima às 17 horas	T° Máx 17h	graus Celsius (C°)
Temperatura Máxima Diária	T° Máx méd	graus Celsius (C°)
Temperatura Mínima às 9 horas	T° Mín 9h	graus Celsius (C°)
Temperatura Mínima às 13 horas	T° Mín 13h	graus Celsius (C°)
Temperatura Mínima às 17 horas	T° Mín 17h	graus Celsius (C°)
Temperatura Mínima Diária	T° Mín méd	graus Celsius (C°)
Umidade Relativa às 9 horas	UR 9h	percentual (%)
Umidade Relativa às 13 horas	UR 13h	percentual (%)
Umidade Relativa às 17 horas	UR 17h	percentual (%)
Umidade Relativa média	UR méd	percentual (%)
Precipitação	P	milímetros (mm)

Fonte: produção do próprio autor

4.2.6 Análises estatísticas

O experimento foi conduzido no delineamento de blocos ao acaso em arranjo fatorial, onde foram estudados três fatores simultaneamente. Os fatores considerados para avaliação do efeito principal foram: idade do povoamento, sortimentos e tempo de estocagem à beira do talhão.

O fator idade do povoamento foi composto por dois níveis (nove e 21 anos). Enquanto o fator sortimento foi composto por dois níveis na idade de nove anos (8 – 18 cm e 18 – 24 cm) e quatro níveis para a idade de 21 anos (8 – 18 cm;

18 – 24 cm; 24 – 35 cm e maior que 35 cm). Ambos os fatores, idade e sortimento são de natureza qualitativa. O tempo de estocagem, por sua vez, foi considerado como fator quantitativo, possuindo sete níveis (0, 7, 14, 21, 28, 60 e 90 dias de estocagem).

Testou-se a normalidade e a homogeneidade da variância dos dados referentes ao efeito principal (F_{cv-m}), pelos testes de Kolmogorov-Smirnov ($n>30$) e Bartlett, respectivamente. Para a análise do experimento utilizou-se a análise de variância (ANOVA) considerando o experimento em blocos ao acaso no esquema fatorial.

A partir dessa análise foram consideradas possíveis interações entre os fatores envolvidos, procedendo-se com análise de regressão para o fator quantitativo (tempo de estocagem) e Teste F seguido do teste de médias de Scott-Knott para os fatores qualitativos (idade e sortimento).

Nas análises referentes aos teores de água inicial e massas específicas básicas da madeira também foram realizados os testes de Kolmogorov-Smirnov ($n>30$) e Bartlett. Após, efetuou-se a ANOVA, sendo consideradas possíveis interações entre os fatores idade e sortimento. Posteriormente foi procedido o teste de médias de Scott-Knott, com a finalidade de detectar o comportamento dessas variáveis de acordo com as diferentes idades e sortimentos.

No acompanhamento dos teores de água atuais da madeira foi realizada ANOVA, seguida de análise de regressão para o fator tempo de estocagem e teste de Tukey para o fator sortimento, considerando separadamente as duas idades.

Também, efetuou-se a análise de correlação de Pearson entre os F_{cv-m} médios e as variáveis climáticas no período de estudo, considerando o valor significativo de p como menor do que 0,10 por se tratar de variáveis que assumem grande variabilidade. A mesma análise foi realizada ainda, para detectar a correlação entre os F_{cv-m} , teor de água inicial e massa específica básica da madeira.

Em seguida procedeu-se com a análise fatorial conforme Manly (2008), por meio de estatística multivariada, englobando como variáveis: F_{Cv-m} ; tempos de estocagem; idades; sortimentos; massas específicas básicas da madeira; teores de água iniciais e as variáveis ambientais. Esse procedimento foi realizado, considerando as variáveis ambientais do período que mais apresentou correlações com as variações nos F_{Cv-m} , detectado pela análise de correlação de Pearson.

Foram analisadas 23 variáveis, buscando agrupá-las em fatores e detectar quanto cada variável explica em cada fator (VICINI; SOUZA, 2005). Quando as variáveis recebem altos pesos na matriz de carregamento, dentro de determinado fator, as correlações são de grau elevado e se inter-relacionam. Para melhor nitidez da correlação entre as variáveis foi empregada à rotação Varimax, e o número de fatores foi definido com base no número de autovalores maiores que um (MANLY, 2008). Tal procedimento foi realizado no software Statistica 7.

Ajustou-se regressão linear múltipla por meio do procedimento *stepwise* considerando as variáveis ambientais, massa específica básica e teor de água inicial da madeira, como variáveis independentes, tomando-se o mesmo valor máximo de p de 0,10 para a inclusão de coeficientes no modelo, assim como nas análises de correlação.

Por fim, ajustou-se um Modelo Linear Generalizado (MLG), considerando variáveis categóricas (idades e sortimentos), tendo-se como variável dependente os F_{Cv-m} e como variável quantitativa independente os tempos de estocagem da madeira. O valor de p para inclusão dos coeficientes no modelo considerado foi o mesmo citado anteriormente.

Em ambas as equações foram consideradas nas análises da estatística de ajuste e precisão o coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.), valor de F, erro padrão da estimativa absoluto (Syx) e erro padrão da estimativa relativo (Syx%).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.3.1 Massa específica básica da madeira

Os resultados da análise de variância (ANOVA) para as massas específicas básicas da madeira são apresentados na Tabela 9. Para tal análise foram considerados apenas os sortimentos 1 e 2 nas idades de nove e 21 anos, uma vez que a primeira idade não possui os sortimentos 3 e 4.

Tabela 9 – Análise de variância (ANOVA) para massa específica básica da madeira no esquema fatorial, considerando os fatores idade e sortimentos. Onde: **significativo ao nível de 1% de significância; *significativo ao nível de 5% de significância; ^{ns}não significativo ao nível de 5% de significância.

Fonte de Variação	GL	Valor de F	Pr > Fc
Idade	1	16,62	0,00**
Sortimento	1	4,54	0,02*
Interação - Idade x Sortimento	1	0,03	0,97 ^{ns}
Erro	28	-	-
Total	31	-	-

Fonte: produção do próprio autor

Como se pode observar, não houve interação entre os fatores idades e sortimento a um nível de significância de 5% pelo Teste F, considerando como efeito principal as massas específicas básicas da madeira. A mesma análise indica ainda, que houve diferenças significativas nas massas específicas básicas da madeira para diferentes idades e sortimentos, a níveis de 1% e 5% de significância pelo ANOVA, respectivamente.

A massa específica básica média da madeira apresentou-se maior na idade de 21 anos ($0,3571 \text{ g cm}^{-3}$) em

relação à idade de nove anos ($0,3156 \text{ g cm}^{-3}$), diferindo entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Scott-Knott (Tabela 10).

Tabela 10 – Teste de médias de Scott-Knott para massa específica básica da madeira (\pm desvio padrão), considerando as idades de nove e 21 anos. Níveis do fator com médias seguidas de letras desiguais diferem estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Idades (anos)	Massa específica básica média (g cm^{-3})
9	$0,3156 (\pm 0,0328)$ b
21	$0,3571 (\pm 0,0280)$ a

Fonte: produção do próprio autor

Considerando o fator sortimento nas diferentes idades, se observa diferenças significativas para massas específicas básicas médias da madeira na idade de 21 anos. As diferenças se evidenciam em todos os sortimentos, exceto entre S3 e S4, os quais não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Já para a idade de nove anos as mesmas não diferem significativamente pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 11).

Tal comportamento pode ser atribuído às diferenças entre lenhos juvenis e adultos em ambas as idades, uma vez que na idade de nove anos ainda não se observa a presença de madeira adulta, enquanto na idade de 21 anos tem-se a presença da mesma.

Tabela 11 - Teste de médias de Scott-Knott para massa específica básica da madeira (\pm desvio padrão) nas idades de nove e 21 anos. Níveis do fator nas colunas com médias seguidas de letras desiguais diferem estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Sortimentos	Massa específica básica média (g cm ⁻³)	
	9 anos	21 anos
1	0,3028 (\pm 0,0319) a	0,3448 (\pm 0,0183) c
2	0,3283 (\pm 0,0304) a	0,3695 (\pm 0,0315) b
3	-	0,3863 (\pm 0,0207) a
4	-	0,4105 (\pm 0,0222) a

Fonte: produção do próprio autor

Segundo Zobel (1971), a diferenciação desses lenhos é baseada na evolução dos elementos anatômicos que os constituem, sendo que a madeira adulta apresenta traqueoides estabilizados em crescimento. O autor relata que para a espécie de *Pinus taeda*, essa estabilização foi encontrada a partir do intervalo do 11° ao 13° ano de crescimento, analisando árvores de 30 anos de idade. Resultados semelhantes foram obtidos por Bendtsen e Senft (1986) ao estudarem as proporções de lenho juvenil na mesma espécie, em árvores de 20 a 100 anos, concluindo que o 12° ano é o último ano de lenho juvenil. Já Muñiz (1993) em seu trabalho evidencia as diferenças entre lenhos juvenil e adulto, relacionando-as com o diâmetro e altura das árvores, inferindo que as mesmas possuem lenho juvenil até os 10 anos de idade. Isso também é relatado por Siqueira (2004), inferindo que a idade de transição do lenho juvenil para o adulto situou-se entre o 11° e o 12° ano.

Quanto à massa específica aparente, Tomaselli (1979) ao estudar as características entre lenhos, constatou que o lenho adulto possui valor superior ao lenho juvenil, sendo de 0,545 g

cm^{-3} para o primeiro e $0,436 \text{ g cm}^{-3}$ para o segundo, respectivamente.

Esse fato está relacionado à maior porcentagem de lenho tardio e paredes celulares mais espessas que são características das madeiras adultas (BENDTSEN, 1978). Segundo Brown et al. (1952), o efeito do lenho tardio na massa específica se deve ao fato do mesmo conter maior quantidade de material lenhoso por unidade de volume do que o lenho inicial.

Higa et al. (1973) ao estudarem a variação da densidade básica para a espécie *Pinus taeda* L. em três idades, relata que não houve diferenças significativas aparentes entre as densidades observadas nas idades de seis e sete anos ($0,311$ e $0,331 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente), porém para a idade de 13 anos observaram um aumento prenunciado na mesma, obtendo um valor médio de $0,366 \text{ g cm}^{-3}$. Nota-se que os valores observados são próximos aos obtidos no presente estudo quando se considera a idade de nove anos.

Um valor ainda maior foi encontrado por Iwakiri et al. (2001), sendo este de $0,436 \text{ g cm}^{-3}$ para árvores com idade de 10 anos. Valores este, próximo ao obtido por Oliveira et al. (2006), que encontrou valores de $0,430 \text{ g cm}^{-3}$; $0,490 \text{ g cm}^{-3}$ e $0,560 \text{ g cm}^{-3}$, para povoamentos de nove, 13 e vinte anos, respectivamente, corroborando para a afirmativa que a idade da árvore influencia na densidade de sua madeira ocorrendo geralmente uma correlação positiva entre ambas as variáveis.

Analizando somente as diferenças na idade de 21 anos, nota-se a maior massa específica básica nas toras referentes às menores posições na árvore (S3 e S4), já que as mesmas apresentam maior porcentagem de lenho tardio em comparação às toras referentes às maiores posições. Das informações disponíveis na literatura tem-se para as espécies do gênero *Pinus*, em geral, maiores massas específicas e teores de lenho tardio na madeira proveniente das menores alturas do fuste das árvores, sendo que essas variáveis decrescem com o aumento

da altura das mesmas (WAHLGREN; FASSNACHT, 1959; JOHNSTONE, 1970; PEARSON; GILMORE, 1980; HEGER, 1974; SIQUEIRA, 2004) e são crescentes com a idade, no sentido da medula para a casca (SELLERS, 1962; EDLIN, 1965; FERREIRA; FERREIRA, 1969; LARSON, 1969; UPRICHARD, 1970; HIGA et al., 1973); FOELKEL et al., 1975; LEMA et al., 1978; SIQUEIRA, 2004). Trendelenburg e Mayer-Wegelin (1956) enfatizam que o decréscimo na porcentagem de lenho tardio em função do acréscimo em altura na árvore é mais acentuado em espécies do gênero *Pinus* em relação a outras espécies.

Xavier (2009), ao analisar na mesma espécie as variações da massa específica básica para diferentes idades e alturas no fuste, encontrou resultados superiores aos inferidos nesse estudo, relatando valores médios de $0,376 \text{ g cm}^{-3}$; $0,366 \text{ g cm}^{-3}$; $0,351 \text{ g cm}^{-3}$; $0,384 \text{ g cm}^{-3}$ e $0,387 \text{ g cm}^{-3}$, para as idades de oito, nove, dez, onze, dezesseis e dezessete anos, respectivamente. O mesmo autor descreve ainda, que em todas as idades houve comportamento inverso entre os valores de altura do fuste e massa específica básica da madeira, fato também observado no presente estudo.

Klock (1989), cita que além de fatores como a idade, posição no tronco e altura da árvore, outros fatores também influenciam nas variações da massa específica da madeira, como tratamentos silviculturais (poda e desbaste), fertilização, fatores ambientais (qualidade de sítio, altitude e taxa de crescimento) e principalmente, fatores genéticos. Trendelenburg e Mayer-Wegelin (1956) mencionam que a massa específica de uma espécie pode variar em torno de 30% em relação a sua média.

4.3.2 Teor de água inicial e variação do teor de água ao longo do tempo

Considerando o teor de água inicial como efeito principal na análise de variância, observou-se que não houve interação entre sortimentos e idades. Da mesma forma, os teores de água iniciais da madeira não diferiram entre as idades estudadas ao nível de 5% de probabilidade. Enquanto entre os sortimentos estudados foram verificadas diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 12).

Tabela 12 – Análise de variância (ANOVA) para teor de água inicial da madeira no esquema fatorial, considerando os fatores idade e sortimentos.

Onde: **significativo ao nível de 1% de significância; ^{ns}não significativo ao nível de 5% de significância.

Fonte de Variação	GL	Valor de F	Pr > Fc
Idade	1	0,17	0,686 ^{ns}
Sortimento	1	14,73	0,002**
Idade x Sortimento	1	1,78	0,207 ^{ns}
Erro	12	-	-
Total	15	-	-

Fonte: produção do próprio autor

Em semelhança à massa específica básica da madeira, foram considerados no teste de médias apenas os sortimentos S1 e S2 para detectar as diferenças entre as idades estudadas. Os resultados indicam que não houve diferenças significativas nos teores de água inicial para ambas as idades ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 13).

Tabela 13 – Teste de médias de Scott-Knott para teor de água inicial da madeira (\pm desvio padrão), considerando as idades de nove e 21 anos. Níveis do fator com médias seguidas de letras desiguais diferem estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Idade (anos)	Teor de água inicial médio (%)
10	157,2 (\pm 47,1) a
20	162,5 (\pm 21,6) a

Fonte: produção do próprio autor

Analizando as médias dos teores de água iniciais para os diferentes sortimentos (Tabela 14), observam-se diferenças significativas em todos os casos, em ambas as idades estudadas. A variação no teor de água inicial médio entre S1 e S2 foi de 66,4%, na idade de nove anos. Já para a idade de 21 anos têm-se teores de água inicial médios de 173,3%; 141,1%; 124,5% e 97,9%, para S1, S2, S3 e S4, respectivamente.

Tabela 14 – Teste de médias de Scott-Knott para teor de água inicial (\pm desvio padrão) nas idades de nove e 21 anos. Níveis do fator nas colunas com médias seguidas de letras desiguais diferem estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Sortimentos	Teor de água inicial da madeira (%)	
	9 anos	21 anos
1	195,7 (\pm 33,2) a	173,3 (\pm 15,5) a
2	129,3 (\pm 33,6) b	141,1 (\pm 12,9) b
3	-	124,5 (\pm 9,7) c
4	-	97,9 (\pm 17,7) d

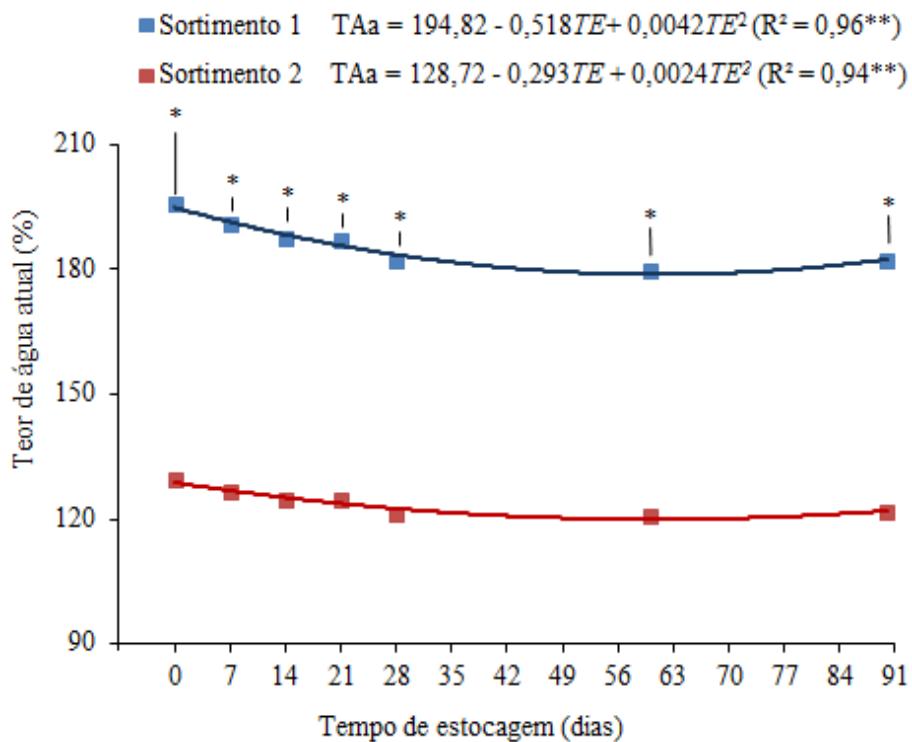
Fonte: produção do próprio autor

Diferentemente da massa específica básica, os teores de água iniciais têm maiores valores nos menores sortimentos. Desta forma, infere-se que há um comportamento inverso entre a massa específica e o teor de água inicial da madeira, apresentando um coeficiente da correlação de Pearson de -0,82 ($p < 0,01$), o que culmina em correlação altamente negativa entre ambas as variáveis. Essa tendência é explicada por Moratti e Ferraz (1981) e Plumb et al. (1984) que mencionam que o percentual de água possível de se acumular nos lenhos iniciais é superior àquele dos lenhos tardios, devido as suas diferenças de massa específica.

Os resultados encontrados por Muñiz (1993), Lopes e Garcia (2002) e Xavier (2009), corroboram os descobertos no presente trabalho, uma vez que ambos os autores encontraram elevados ajustes entre teores de água inicial e massas específicas da madeira, indicando relação inversa entre ambas as variáveis. Isto se deve ao fato de que a madeira de maior massa específica possui menor quantidade de espaços vazios no interior de suas fibras e com isso possui uma menor quantidade de água livre em seus lúmens.

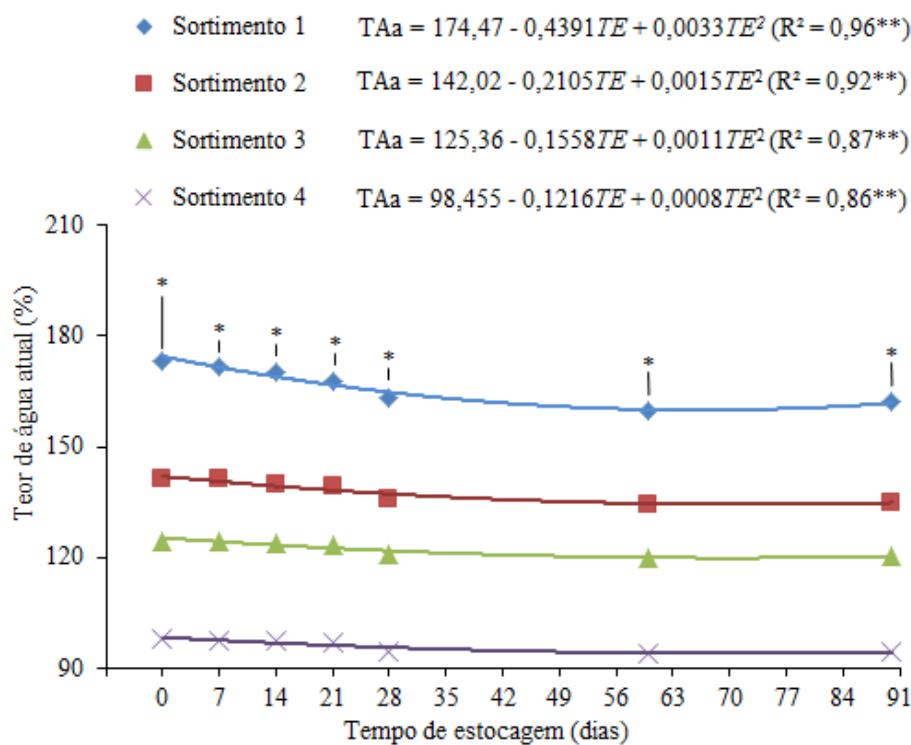
Nas Figuras 15 e 16 podem ser observadas as variações dos teores de água para os diferentes sortimentos nas idades de nove e 21 anos, as quais diferiram significativamente ao nível de 1% de probabilidade em todos os casos.

Figura 15 – Variação do teor de água das pilhas de madeira em função do tempo de estocagem para os sortimentos 1 e 2, na idade de nove anos. Onde TAa: teor de água atual da madeira e TE: tempo de estocagem da madeira. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5% de significância entre os sortimentos; **significativo ao nível de 1% de significância; *significativo ao nível de 5% de significância.



Fonte: produção do próprio autor

Figura 16 – Variação do teor de água das pilhas de madeira em função do tempo de estocagem para S1, S2, S3 e S4, na idade de 21 anos. Onde TAa: teor de água atual da madeira e TE: tempo de estocagem da madeira. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5% de significância entre os sortimentos; ** significativo ao nível de 1% de significância; *significativo ao nível de 5% de significância.



Fonte: produção do próprio autor

Para ambas as idades, o S1 apresentou curvas mais acentuadas em relação aos demais sortimentos, sendo o decréscimo no teor de água da madeira maior no primeiro mês

de estocagem. As diferenças entre os valores médios dos teores de água nos diferentes períodos de estocagem podem ser observados nas Tabelas 15 e 16, para as idades de nove e 21 anos, respectivamente.

Tabela 15 – Teste de médias de Scott-Knott para teor de água atual da madeira na idade de nove anos, para S1 e S2. Níveis do fator nas colunas com médias seguidas de letras desiguais diferem estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância. Onde: Δ é a variação do teor de água da madeira em dado período de tempo.

Tempo de estocagem (dias)	Teor de água (%)			
	S1	Δ	S2	Δ
7	190,9 a	-4,8	126,6 a	2,7
14	187,3 b	-3,6	124,5 a	-2,1
21	187,1 b	-0,2	124,5 a	0,0
28	182,3 c	-4,8	121,3 b	-3,2
60	179,6 c	-2,7	120,7 b	-0,6
90	182,1 c	2,5	121,7 b	1,0
TOTAL	-	-13,6	-	-7,6

Fonte: produção do próprio autor

De forma geral, as maiores perdas de água foram encontradas para o S1 em ambas as idades, obtendo-se valores de -13,6% e -10,6%, para as respectivas idades de nove e 21 anos. Desta forma, infere-se tendência decrescente na perda de água à medida que aumenta o tamanho das toras. Também, verifica-se menor perda de água na maior idade estudada, quando são avaliados os resultados obtidos para S1 e S2.

Tabela 16 – Teste de médias de Scott-Knott para teor de água atual da madeira na idade de 21 anos, para S1, S2, S3 e S4. Níveis do fator nas colunas com médias seguidas de letras desiguais diferem estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância. Onde: Δ é a variação do teor de água da madeira em dado período de tempo.

Tempo de estocagem (dias)	Teor de água (%)							
	S1	Δ	S2	Δ	S3	Δ	S4	Δ
7	172,0 a	-1,3	141,2 a	-0,1	124,6 a	0,1	97,6 a	-0,3
14	170,3 a	-1,7	140,0 a	-1,2	124,1 a	0,0	97,8 a	0,2
21	167,8 a	-2,5	139,1 a	-0,9	123,5 a	-0,6	97,0 a	-0,8
28	163,3 b	-4,5	136,0 b	-3,1	120,9 b	-2,6	94,8 b	-2,2
60	159,7 b	-3,6	134,6 b	-1,4	119,7 b	-1,2	94,0 b	-0,8
90	162,7 b	3,0	135,0 b	0,4	120,6 b	0,9	94,5 b	0,5
TOTAL	-	-10,6	-	-6,0	-	-3,9	-	-3,4

Fonte: produção do próprio autor

Segundo Plumb et al. (1984) e Tsoumis (1991) relatam que em decorrência do tamanho reduzido do diâmetro do lúmen e das aberturas existentes nas paredes das fibras do lenho tardio da madeira, as forças de retenção de água aí localizadas são maiores do que as localizadas no lenho inicial. Fato esse que explica as menores perdas de água por parte da madeira proveniente de maiores idades e/ou menores alturas dentro de cada árvore.

No mesmo sentido, Garbe (2006) infere que madeiras de *Pinus taeda* com maior massa específica normalmente têm menor teor de água, o que tenderia a diminuir o tempo de secagem. Porém isso não ocorre, já que existe uma maior quantidade de água higroscópica em madeiras com maior massa específica, sendo esse tipo de água retirado com maior dificuldade.

O S1 na idade de nove anos apresentou perda de água significativa aos 14 dias de estocagem. Enquanto, todos os demais sortimentos em ambas as idades estudadas apresentaram diferenças significativas em seus teores de água a partir dos 28 dias de estocagem.

No contexto geral, são ressalvadas baixas variações no teor de água da madeira ao longo do período de estocagem, o que pode estar intimamente ligado à época do ano em que se realizaram os ensaios (outono), na qual as temperaturas não são elevadas e têm-se elevado regime de precipitação. Além disso, a presença de casca e o comprimento elevado das toras, também podem ter contribuído, dificultando a secagem da madeira. Segundo Rezende (1997), a secagem natural da madeira é um processo que relativamente lento e que depende da massa específica, porosidade e dimensões da madeira, além das condições climáticas vigentes.

Resultados encontrados por Schönau e Van Themaat (1978) ao estudarem a secagem ao ar livre de toras descascadas de eucalipto, confirmaram que a velocidade de secagem é influenciada pelo diâmetro das toras e pelo local da realização do ensaio. Os mesmos autores relatam ainda, que a secagem se torna mais lenta após a quarta semana de estocagem, sendo que na primeira são observadas as maiores perdas de água. Ferreira et al (1983) reforça os resultados obtidos, mencionando que as maiores taxas de secagem foram verificadas uma semana após o corte e a partir da 21^a semana de estocagem houve a estabilização dos teores de água.

No presente estudo encontraram-se resultados semelhantes, uma vez que a secagem se tornou mais lenta a partir dos 28 dias de estocagem, porém observaram-se maiores taxas de secagem na quarta semana de estocagem (21 aos 28 dias), período no qual obtiveram-se características climáticas mais favoráveis ao processo de secagem, discussão essa que será abordada na sequência do presente trabalho.

Maiores perdas de água foram observadas por Vital et al. (1985), ao estudarem a secagem ao ar livre de toras de *E. grandis* com 5 anos de idade. Os autores observaram que a redução dos teores de água em função do tempo é afetada pelo diâmetro das toras e presença de casca. As toras sem casca atingiram 23% de umidade média após 175 dias de secagem e as toras com casca atingiram 32%, assumindo-se uma umidade inicial de 129%. 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%. Observaram ainda, que a perda de umidade é afetada pela posição das toras nas pilhas. A umidade das toras na região inferior das pilhas variou de 20% a 56%; na região central da pilha, variou de 19% a 44% e, na região superior, de 16% a 43%.

Barros (2006) também obteve maiores variações nos teores de umidade, avaliando a secagem ao ar livre de toras sem casca de *Eucalyptus grandis* com 11 anos de idade. O autor verificou que a umidade média das toras atingiu 70% após 30 dias de estocagem em exposição às condições ambientais, partindo de uma umidade inicial de 106%. Aos 60 dias de secagem, a umidade média aproximou-se de 40%, tendendo a perda de água, a partir desse ponto, ser constante, chegando a um valor de médio de 27% após 180 dias.

No presente estudo, aos 90 dias de estocagem houve ganho de água por parte da madeira, fato explicado pela alta precipitação na semana antecedente a medição desse período, onde se observou uma precipitação de 81,5 mm. Segundo Durlo (1992), a madeira, por ser um material poroso e higroscópico troca água continuamente com o ambiente, dependendo das condições de temperatura, umidade e circulação do ar, sempre buscando uma condição de equilíbrio com o ambiente. Sendo assim a mesma pode perder ou adquirir água de acordo com as variáveis ambientais às quais está exposta, no caso de toras expostas a céu aberto. Segundo Bauer

(1985), perda de água por parte da madeira é mais ativa nas épocas do ano em que a temperatura é mais elevada e a umidade relativa do ar mais baixa.

Nesse sentido, Jirjis (1995), trabalhando na Suécia com estocagem de toras e resíduos florestais, constatou que o conteúdo de umidade da biomassa na forma de toras decresceu de aproximadamente 50% para 40%, depois de um inverno e verão estocados. Esses resultados levaram o autor à conclusão de que a umidade da biomassa na forma de toras decresce rapidamente se o material é estocado em pequenas pilhas durante o verão, com maior risco de reumedecimento no caso de épocas de alta umidade.

Brand et al. (2014) ao estudarem a perda de umidade em toras de *Eucalyptus* e *Pinus* em diferentes períodos de estocagem, relatam que as toras da primeira espécie tiveram maior perda de umidade em comparação à segunda, respectivamente. Inferem ainda, que após seis meses de estocagem as toras de *Pinus* obtiveram aumento em sua umidade, enquanto as toras de *Eucalyptus* mantiveram umidade estável, resultados esses, semelhantes aos obtidos no presente estudo, onde se obteve aumento dos teores de umidade aos 90 dias de estocagem. Porém, os autores relacionam esse aumento na umidade ao início do processo de biodegradação da madeira, que segundo Thörnqvist (1985) contribui para o aumento da umidade da mesma, enquanto neste estudo apesar da biodegradação não ser abordada, não se notou até o presente período indícios de ataques por parte de agentes xilófagos a madeira.

4.3.3 Fatores de conversão de volume sólido e massa

Os resultados da análise de variância que considerou os $F_{c,v-m}$ como efeito principal, demonstraram que não houve interação entre o fator tempo de estocagem e os fatores idade e sortimento (Tabela 17). Já considerando as idades e

sortimentos, observa-se interação ao nível de 1% de probabilidade. Considerando cada fator isoladamente, nota-se que todos os fatores apresentaram diferenças significativas a 1% de probabilidade.

Tabela 17 – Análise de variância (ANOVA) para fatores de conversão de volume sólido para massa ($F_{C_{v-m}}$) da madeira no esquema fatorial, considerando os fatores idade, sortimentos e tempo de estocagem. Onde: **significativo ao nível de 1% de significância; ns não significativo ao nível de 5% de significância.

Fonte de Variação	GL	Valor de F	Pr > Fc
Blocos	2	11,69	0,00**
Idade	1	174,49	0,00**
Sortimento	3	50,99	0,00**
Tempo de estocagem	6	4,68	0,00**
Idade x Sortimento	1	224,99	0,00**
Idade x Tempo de estocagem	6	0,094	0,99 ^{ns}
Sortimento x Tempo de estocagem	18	0,348	0,99 ^{ns}
Erro	90	-	-
Total	125	-	-

Fonte: produção do próprio autor

A Tabela 18 demonstra os desdobramentos obtidos nos fatores idade e sortimento considerando os $F_{C_{v-m}}$ como efeito principal, para S1 e S2 em ambas as idades. Na idade de nove anos tem-se diferença entre os $F_{C_{v-m}}$ para S1 e S2, tendo-se os valores de $1,003 \text{ t m}^{-3}$ e $0,892 \text{ t m}^{-3}$, respectivamente. Já na idade de 21 anos os fatores não apresentam diferenças significativas, apresentando valores respectivos de $1,060 \text{ t m}^{-3}$ e $1,051 \text{ t m}^{-3}$, para S1 e S2.

Tabela 18 – Teste de médias de Scott-Knott para fatores de conversão de volume sólido para massa ($F_{C_{V-M}}$) ($t.m^{-3}$) nas idades de nove e 21 anos, considerando apenas S1 e S2. Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, considerando letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Sortimentos	Idade (anos)	
	9	21
S1	1,003 Aa	1,060 Ab
S2	0,892 Bb	1,051 Aa

Fonte: produção do próprio autor

Em contrapartida, quando são analisadas as idades dentro de cada sortimento, observa-se que há diferenças significativas para ambos os sortimentos analisados. Tendo-se para S1, valores respectivos de $1,003\ t\ m^{-3}$ e $1,060\ t\ m^{-3}$, para as idades de nove e 21 anos. Enquanto no S2 tem-se para as mesmas idades, valores de $0,892\ t\ m^{-3}$ e $1,051\ t\ m^{-3}$, respectivamente.

Essa maior diferença entre S1 e S2 na idade de nove anos tem provável ligação ao fato do S2 ser oriundo da primeira tora da árvore, considerando que essa possui uma maior proporção de lenho tardio em relação às toras obtidas para S1, as quais são as toras das posições mais elevadas da árvore. Já na idade de 21 anos não se detecta diferenças entre os $F_{C_{V-M}}$ dos sortimentos analisados, uma vez que as toras são oriundas das posições superiores da árvore, tanto para S1 quanto para S2, tendo-se possivelmente, entre ambas, maiores semelhanças anatômicas, já que a porção superior das árvores possui menor proporção de lenho tardio em relação às inferiores.

Já para S3 e S4 verificaram-se valores médios, durante o período estudado, de $1,000 \text{ t m}^{-3}$ e $0,953 \text{ t m}^{-3}$, respectivamente. Assim, percebe-se que houve uma tendência de diminuição dos $F_{c_{v-m}}$ dos menores para os maiores sortimentos, fato que pode estar relacionado à massa específica e teor de água da madeira, considerando que os menores sortimentos possuem maiores teores de água. Os coeficientes de correlação de Pearson para as análises dos $F_{c_{v-m}}$ em relação à massa específica básica e teor de água inicial da madeira se apresentaram significativos ($p < 0,05$) tendo valores de -0,96 e 0,96, respectivamente, confirmando a tendência observada.

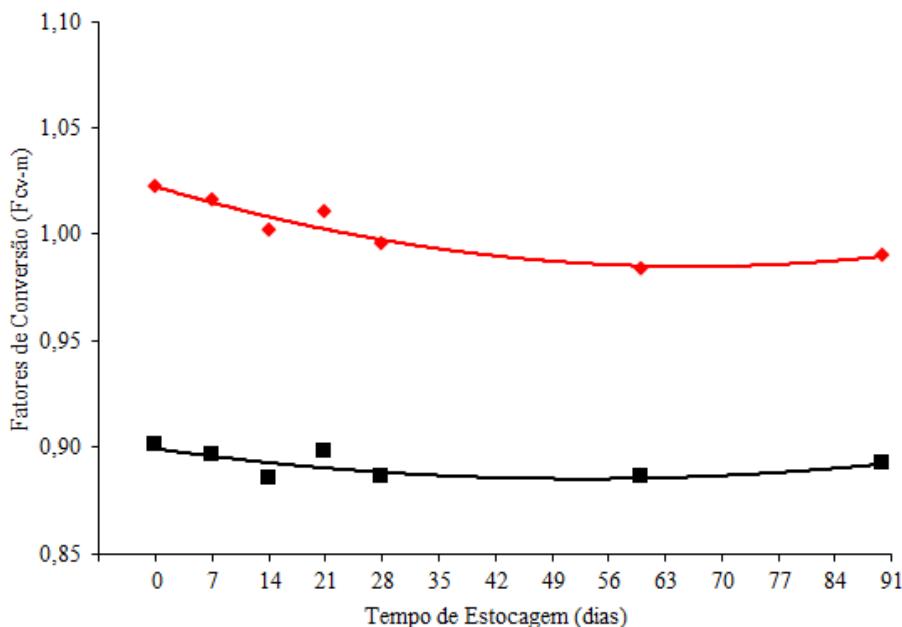
Segundo Rasmussen (1961), Jankowsky (1979) e Ponce e Watai (1985), as árvores recém-cortadas possuem grande variabilidade em seu teor de água em relação ao peso seco, podendo variar de 30% a 200%, dessa forma, a massa de água de uma tora pode representar até duas vezes a massa da própria madeira.

Arce (1997) infere resultados de fatores entre unidades de volume sólido e massa por classe de DAP obtidos pela empresa Pisa Florestal (1997), tendo-se valores respectivos de $1,08 \text{ t m}^{-3}$; $1,10 \text{ t m}^{-3}$; $1,09 \text{ t m}^{-3}$ e $1,09 \text{ t m}^{-3}$, para as classes de 18 – 24 cm; 25 – 34 cm; 35 – 44 cm e maiores que 45 cm.

Para o fator tempo de estocagem obteve-se diferenças significativas para S1 e S2 na idade de nove anos (Figura 17), obtendo-se elevados ajustes dos $F_{c_{v-m}}$ em função do tempo de estocagem, apresentando coeficientes de determinação de 0,90 e 0,56, respectivamente. Para essa idade, ambos os sortimentos apresentaram comportamento semelhante ao se considerarem os $F_{c_{v-m}}$, sendo as maiores variações observadas até os 28 dias de estocagem. A partir desse período a curva tendeu a estabilizar, havendo um aumento dos mesmos aos 90 dias de estocagem.

Figura 17 – Variação fatores de conversão de volume sólido para massa (F_{cv-m}) de madeira em função do tempo de estocagem para S1 e S2, na idade de nove anos. Onde: **significativo ao nível de 1% de significância pela análise de regressão.

- ◆ Sortimento 1 $F_{cv-m} = 1,022444 - 0,001134 TE + 9E-06 TE^2 (R^2 = 0,90**)$
- Sortimento 2 $F_{cv-m} = 0,899429 - 0,000534 TE + 5E-06 TE^2 (R^2 = 0,56**)$



Fonte: produção do próprio autor

Os F_{cv-m} referentes ao S1 apresentaram maior variação (3,1%), quando comparados aos obtidos para o S2 (1,0%) para o período analisado (Tabela 19).

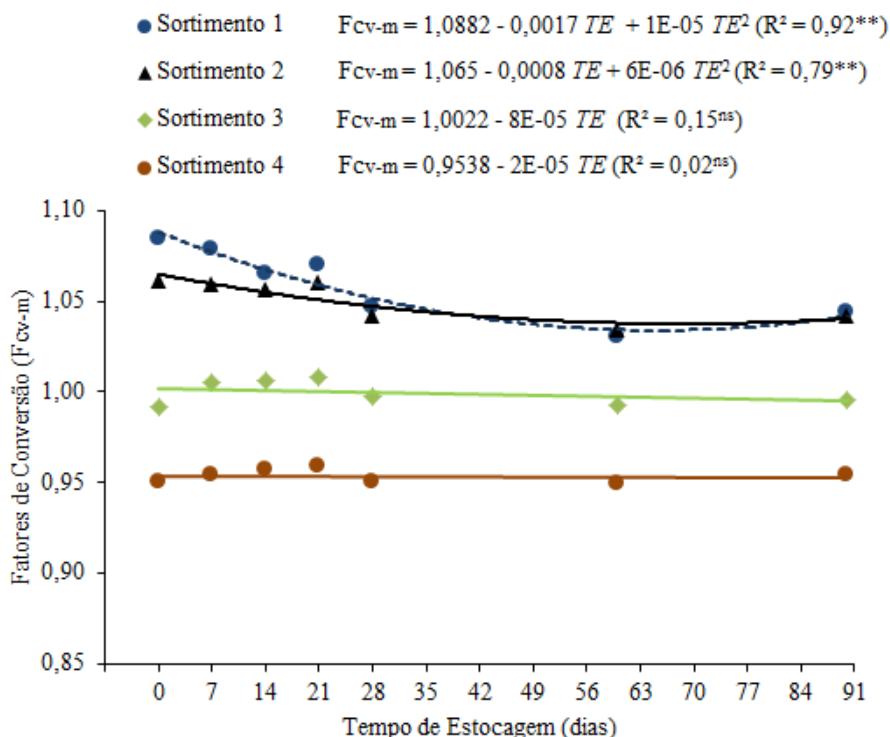
Tabela 19 – Fatores de conversão entre unidades de volume sólido e massa ($F_{C_{v-m}}$) para a idade de nove anos, considerando S1 e S2, em diferentes períodos de estocagem. Onde: Δ é a variação (%) nos $F_{C_{v-m}}$ para cada período de estocagem.

Tempo de estocagem (dias)	$F_{C_{v-m}} (t m^{-3})$			
	S1	Δ (%)	S2	Δ (%)
0	1,022	-	0,901	-
7	1,016	-0,6	0,896	-0,5
14	1,002	-1,4	0,885	-1,2
21	1,011	0,9	0,897	1,4
28	0,996	-1,5	0,886	-1,2
60	0,984	-1,2	0,886	-0,1
90	0,990	0,7	0,892	0,7
TOTAL	-	-3,1	-	-1,0

Fonte: produção do próprio autor

Da mesma forma que para a idade anteriormente citada, os S1 e S2 também apresentaram diferenças significativas na idade de 21 anos. Porém, os S3 e S4 não apresentaram diferenças durante o período de estocagem (Figura 18).

Figura 18 – Variação fatores de conversão de volume sólido para massa (F_{cv-m}) de madeira em função do tempo de estocagem para os S1, S2, S3 e S4, na idade de 21 anos. Onde: **significativo ao nível de 1% de significância pela análise de regressão e ns não significativo ao nível de 5% pela análise de regressão.



Fonte: produção do próprio autor

O S1 apresentou novamente a maior variação nos F_{cv-m} (-3,8%), seguido do S2 (-1,8%), enquanto os S3 e S4 apresentaram aumento nos F_{cv-m} na ordem de 0,4%, apesar de não apresentarem diferenças estatísticas significativas (Tabela 20).

Tabela 20 – Fatores de conversão entre unidades de volume sólido e massa ($F_{C_{v-m}}$) para a idade de 21 anos, considerando S1 e S2, em diferentes períodos de estocagem. Onde: Δ é a variação (%) nos $F_{C_{v-m}}$ para cada período de estocagem.

Tempo de estocagem (dias)	$F_{C_{v-m}} (t m^{-3})$							
	S1	Δ (%)	S2	Δ (%)	S3	Δ (%)	S4	Δ (%)
0	1,084	-	1,061	-	0,992	-	0,950	-
7	1,079	-0,5	1,059	-0,2	1,006	1,4	0,954	0,4
14	1,066	-1,2	1,056	-0,3	1,006	0,1	0,957	0,3
21	1,070	0,4	1,061	0,4	1,008	0,2	0,959	0,2
28	1,047	-2,2	1,042	-1,7	0,997	-1,1	0,950	-0,9
60	1,031	-1,5	1,034	-0,8	0,993	-0,5	0,949	-0,1
90	1,043	1,2	1,042	0,8	0,996	0,3	0,954	0,6
TOTAL	-	-3,8	-	-1,8	-	0,4	-	0,4

Fonte: produção do próprio autor

Como observado, embora tenham existido diferenças significativas nos $F_{C_{v-m}}$, para os S1 e S2 em ambas as idades estudadas, a variação pode ser considerada pequena. Isso é explicado pela baixa variação do teor de água da madeira no período de estocagem. Considerando que a variação dos $F_{C_{v-m}}$ é diretamente proporcional à perda ou ganho de água por parte da madeira.

As modificações nas relações entre unidades de volume sólido e massa da madeira são dadas, porque quando a madeira perde ou ganha água a mesma possui variações em sua massa, porém nem sempre a mesma sofre variações nas suas dimensões. Desta forma, as variações de massa e volume não são proporcionais, uma vez que segundo Rezende (2003) a madeira sofre modificações volumétricas apenas em teores de água inferiores a 28% (ponto de saturação das fibras),

possuindo variações volumétricas insignificantes acima desse valor.

Leite et al. (2000) conduziram estudo com toras de *E. urophylla* e *E. urograndis*, analisando a perda de peso da madeira ao longo do tempo de estocagem ao ar livre. Para períodos de estocagem de aproximadamente 120 dias, os autores obtiveram reduções de até 70% em relação ao peso inicial da madeira, inferindo que as maiores variações de peso, considerando um mesmo número de dias de estocagem são encontradas nos meses de menor intensidade pluviométrica. A perda de peso por parte da madeira também foi influenciada pelo local, espécie e época de derrubada das árvores.

Observa-se ainda, que para ambas as idades, considerando S1 e S2, houve aumentos nos valores dos $F_{C_{v-m}}$ nos períodos de 21 e 90 dias de estocagem, fato esse que se deve a elevadas precipitações nos períodos. No caso dos S3 e S4 na idade de 21 anos, notam-se menores variações tanto no ganho quanto na perda de água, como visto anteriormente, devido às características diferenciadas da madeira, portanto, os fatores ambientais não ocasionaram variações significativas nos $F_{C_{v-m}}$ para os mesmos, em função das temperaturas serem amenas e precipitações intensas.

4.3.3.1 Relações entre variáveis climáticas, tempo de estocagem e fatores de conversão

As variáveis climáticas que apresentaram maiores correlações significativas ($p < 0,10$) com as variações nos $F_{C_{v-m}}$ durante o período de estocagem da madeira, foram as médias de quatro dias retroativos às medições referentes a T° A 9h; T° Máx 9h; T° Mín 9h; T° Mín 13h e T° Mín 17h e o somatório da precipitação (P) de dois dias retroativos às medições (Tabela 21).

Tabela 21 – Resultados da correlação de Pearson entre variáveis ambientais e fatores de conversão entre unidades de volume sólido e massa ($F_{C_{v-m}}$) em diferentes períodos de estocagem. Consideraram-se significativas correlações com $p < 0,10$.

Variável ambiental	Coeficiente de correlação de Pearson	p - valor
T° A 9h (4 dias)	0,75	0,09
T° Máx 9h (4 dias)	0,81	0,05
T° Mín 9h (4 dias)	0,81	0,05
T° Mín 13h (4 dias)	0,81	0,05
T° Mín 17h (4 dias)	0,75	0,09
P (2 dias)	0,83	0,04

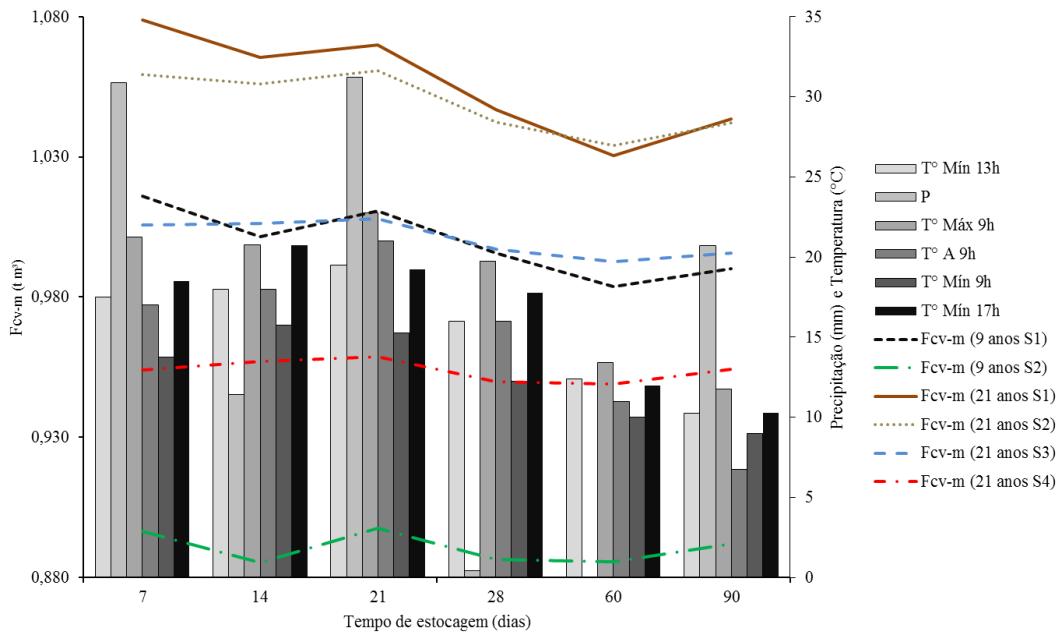
Fonte: produção do próprio autor

A precipitação (P) foi a variável ambiental que mais se correlacionou com os $F_{C_{v-m}}$, possuindo correlação altamente positiva, ou seja, à medida que ocorrem chuvas de maiores proporções tem-se aumento dos $F_{C_{v-m}}$ médios. Esse aumento é explicado pela correlação positiva entre precipitação e umidade relativa do ar às 13h e 17h, apresentando coeficientes de 0,78 e 0,58, respectivamente (Apêndice A), sendo que isso culmina no aumento do teor de água por parte da madeira.

Do mesmo modo, os $F_{C_{v-m}}$ médios apresentaram correlações positivas com as temperaturas, ou seja, quanto maiores às temperaturas maiores os mesmos. Esse fato se deve a época do ano em que se realizou o estudo, na qual as temperaturas vão diminuindo gradativamente (Figura 19), uma vez que o período compreendido no estudo abrangeu o outono o qual antecede o inverno. Segundo Barros (2006), nessa época do ano tem-se correlações inversas entre temperaturas médias e umidades relativas do ar médias, o que culmina em relação inversa entre temperaturas e perda de massa da madeira. No presente estudo observa-se esse comportamento, onde se tem

correlações altamente negativas entre T° A méd e UR méd na ordem de -0,76, o que se repete para T° Máx méd e T° Mín méd, tendo-se valores de -0,65 e -0,59 (Apêndice B).

Figura 19 – Variações ao longo do período de estocagem para as variáveis ambientais e Fcv-m nas diferentes idades e sortimentos. Sendo as temperaturas referentes a quatro dias retroativos as medições e a precipitação referente a dois dias retroativos as medições.



Fonte: produção do próprio autor

Com a análise multivariada fatorial referente às condições atmosféricas de quatro dias retroativos (Tabela 22), pode-se observar que a única variável que não foi agrupada foi a UR méd. As demais variáveis foram agrupadas em cinco fatores que somam 96,29% da variância dos dados, sendo que

os fatores 1, 2 e 3 são os que mais contribuem na variância acumulada, totalizando 85,13%. Já os fatores 4 e 5 contribuem juntos, explicando 11,13% da variação dos dados.

Tabela 22 – Matriz de carregamento para análise multivariada fatorial considerando a distribuição em cada fator das variáveis: idade, sortimento, tempo de estocagem, variáveis ambientais, massa específica e teor de água inicial da madeira. Onde: valores em negrito são os carregamentos fatoriais com valores acima de 0,70.

Variáveis	Fatores				
	1	2	3	4	5
Idade	-0,01	-0,01	-0,60	0,79	-0,02
Sortimento	0,00	0,00	-0,97	-0,15	0,01
Tempo de estocagem	-0,95	0,00	0,00	-0,02	0,04
Fcv-m	0,09	0,04	0,26	0,95	0,05
Massa específica básica	0,00	0,00	-0,95	0,32	-0,01
Teor de água inicial	-0,01	0,00	0,96	0,22	-0,01
T° A 9h	0,98	-0,09	0,00	0,02	0,12
T° A 13h	1,00	-0,01	0,00	0,02	-0,03
T° A 17h	0,97	0,05	0,00	0,02	-0,16
T° A méd	0,96	-0,27	0,00	0,01	-0,05
T° Máx 9h	0,97	0,08	0,00	0,02	0,09
T° Máx 13h	0,97	0,14	0,00	0,02	0,11
T° Máx 17h	0,99	0,04	0,00	0,01	-0,04
T° Máx méd	0,97	-0,19	0,00	0,02	0,10
T° Mín 9h	0,97	0,12	0,00	0,02	0,14
T° Mín 13h	0,99	0,00	0,00	0,02	0,15
T° Mín 17h	0,99	0,14	0,00	0,02	-0,06
T° Mín méd	0,95	-0,18	0,00	0,02	0,10
UR 9h	0,13	0,99	0,00	0,01	-0,07
UR 13h	-0,33	0,82	0,00	0,02	0,31
UR 17h	0,14	0,81	0,00	0,02	0,47
UR méd	-0,66	0,52	0,00	0,01	0,38
P	0,19	0,29	0,00	0,04	0,92
Variância Relativa (%)	56,34	14,88	13,92	7,25	3,91
Variância Acumulada (%)	56,34	71,22	85,13	92,38	96,29

Fonte: produção do próprio autor

Percebe-se que no fator 1, o tempo de estocagem e todas as temperaturas analisadas, possuem altos valores na matriz de carregamento, o que implica em alta inter-relação entre as variáveis, sendo essa inversa, uma vez que com o aumento do tempo de estocagem houve diminuição nas médias de todas as temperaturas analisadas no estudo.

No fator 2 têm-se as umidades relativas do ar nos diferentes horários (9 h, 13 h e 17 h), enquanto no fator 3 agruparam-se as variáveis: sortimento, massa específica básica e teor de água inicial da madeira, também com elevados valores na matriz de correlação. Os Fcv-m apresentaram maior inter-relação com a idade das árvores, ficando estes agrupados no fator 4, já a precipitação não apresentou inter-relações com as demais variáveis formando individualmente o fator 5.

A equação de regressão linear múltipla ajustada pelo procedimento *stepwise* para a estimativa dos Fcv-m, assumiu como variáveis significativas apenas à precipitação de dois dias retroativos aos períodos de medição, a massa específica e o teor de água inicial da madeira (Tabela 23). A variável independente com maior participação na explicação dos Fcv-m foi à massa específica da madeira com valor de R^2 ajustado de 0,65, seguida do teor de água inicial (R^2 aj. = 0,19) e somatório das precipitações nos dois dias retroativos às medições (R^2 aj. = 0,01).

Tabela 23 – Equação ajustada para a estimativa dos Fcv-m em função de variáveis ambientais e da madeira, por meio do procedimento *stepwise*, com respectivas estatísticas de ajuste e precisão. Onde:
 **significativo ao nível de 1% de probabilidade;
 *significativo ao nível de 10% de probabilidade;
 R^2 aj. é o coeficiente de determinação ajustado e Syx é o erro padrão da estimativa.

Variável dependente	Variáveis independentes (coeficientes)				R^2 aj.	Valor p	R^2 aj.	Syx ($t\ m^{-3}$)	Syx (%)
	Intercepto	ρ ($g\ cm^{-3}$)	TA _i (%)	P (2 dias)					
Fcv-m	-0,26825	-	-	-	-	0,01**			
	-	2,32096	-	-	0,19	0,00**			
	-	-	0,002949	-	0,65	0,00**	0,86	0,022	2,22
	-	-	-	0,000533	0,01	0,07*			
Equação	$Fcv - m = -0,26825 + 2,32096 * \rho (g\ cm^{-3}) + 0,002949 * TA_i (\%) + 0,000533 * P (2\ dias) (mm)$								

Fonte: produção do próprio autor

O erro padrão da estimativa relativo (Syx) obtido para a equação pode ser considerado baixo, tendo o valor de 2,22%. Porém, tem-se essa equação como teórica, dada a dificuldade e falta de praticidade para a empresa na determinação de massa específica e teores de água inicial da madeira nos atos de comercialização da mesma, entretanto, mais uma vez, demonstra a alta dependência dos Fcv-m com as variáveis independentes significativas na equação.

Tendo em vistas que o tempo de estocagem foi um dos fatores que mais explicaram a variação dos dados, junto aos fatores idade e sortimento, foi ajustada uma equação de regressão por Modelo Linear Generalizado (MLG).

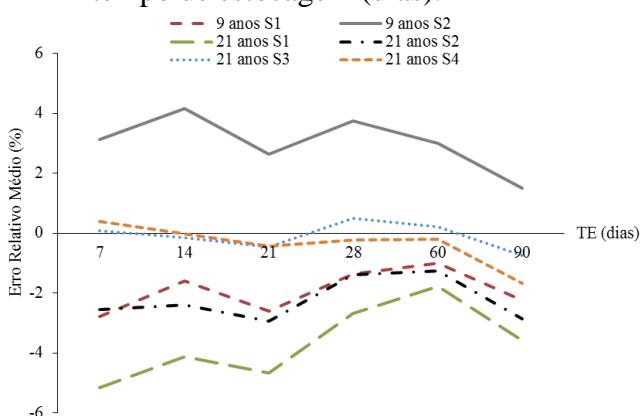
A equação obtida foi $Fcv-m = 0,968824 - 0,0539706 * V1 + 0,0694958 * V2 + 0,00949671 * V3 - 0,0163402 * V4 - 0,00021937 * TE$. Onde: V1 é igual a 1 se a idade for 10 anos, -1 se a idade for 20 anos e 0 para outras idades; V2 é igual a 1 se o sortimento for 1, -1 se o sortimento

for 4 e 0 para outros sortimentos; V3 é igual a 1 se o sortimento for 2, -1 se o sortimento for 4 e 0 para outros sortimentos; V4 é 1 para sortimento 3, -1 para sortimento 4 e 0 para outros sortimentos. Sendo TE o tempo de estocagem das toras a céu aberto.

As estatísticas de ajuste e precisão se mostraram satisfatórias para a presente equação, uma vez que a mesma apresentou elevado ajuste dos F_{cv-m} em relação às variáveis independentes (R^2 aj. = 0,83) e baixo erro padrão da estimativa absoluta ($S_{yx} = 0,0243 \text{ t m}^{-3}$) e relativo ($S_{yx\%} = 2,45\%$). As variáveis categóricas (ou *dummy*), idade e sortimento, se mostraram significativas ao nível de 1% de probabilidade, enquanto o tempo de estocagem se mostrou significativo ao nível de 10% de probabilidade ($p = 0,089$).

Na Figura 20 pode-se observar a distribuição dos erros relativos médios das estimativas dos F_{cv-m} em função do tempo de estocagem da madeira.

Figura 20 – Erros relativos médios das estimativas (%) em função do tempo de estocagem da madeira, para diferentes idades e sortimentos. Onde: TE: tempo de estocagem (dias).



Fonte: produção do próprio autor

Em geral, as estimativas para todos os sortimentos e idades apresentaram comportamentos similares, exceto o S2 na idade de nove anos. Em todos os casos notam-se maiores erros relativos médios no período de 21 e 90 dias de estocagem, nos quais foram observadas elevadas precipitações. Enquanto no S2 da idade de nove anos observam-se diminuições nos erros relativos em tais períodos. Desta forma, pode-se inferir que em períodos com chuvas intensas deve-se usar a equação proposta com cautela, uma vez que os erros tendem a aumentar em casos de precipitação superior a 20,7 mm, isso considerando dois dias retroativos às medições.

O S2 na idade de nove anos apresentou erros de superestimativas considerando a predição dos F_{cv-m} , enquanto o S1 na mesma idade apresentou subestimativa, assim como S1 e S2 na idade de 21 anos. Os S3 e S4 na idade de 21 anos apresentaram menores erros quando comparados aos demais, possuindo erros médios ao longo do período de estocagem de -0,1% e -0,35%, respectivamente. Porém, todas as demais estimativas também tiveram erro relativo médio considerado aceitável, sendo em todos os casos menor que 3,7%, o que indica viabilidade na utilização da equação para estimativas de F_{cv-m} na época de ano estudada (outono), portanto, podendo ter aplicação prática para a empresa florestal.

4.4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados observados pode-se concluir que:

- Em geral, os F_{cv-m} mostraram diferenças significativas quando se consideram diferentes sortimentos (S1 e S2) e idades. Os S1 e S2 na idade de 21 anos não se mostraram diferentes estatisticamente quando se considera o fator sortimento.
- Em ambas as idades os F_{cv-m} se apresentaram inversamente correlacionados aos sortimentos, sendo que os

maiores Fcv-m foram observados nos menores sortimentos, decrescendo para os maiores.

- Quando se consideram os diferentes períodos de estocagem notam-se diferenças significativas entre os Fcv-m nos S1 e S2, para ambas as idades. Já os S3 e S4 não demonstraram diferenças significativas durante o período de estocagem.
- A variação nos Fcv-m durante o período de estocagem apresentou correlações significativas com as variáveis: T° A 9h (4 dias); T° Máx 9h (4 dias); T° Mín 9h (4 dias); T° Mín 13h (4 dias); T° Mín 17h (4 dias) e P (2 dias).
- As equações geradas para a estimativa dos Fcv-m mostraram alto ajuste entre a variável dependente e as variáveis independentes e baixos erros de estimativas, o que possibilita seu uso para tal finalidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com relação à execução do trabalho que avaliou a precisão do dendrômetro Criterion RD100 na estimativa volumétrica, possibilita-se fazer algumas considerações:

- O Criterion RD1000 forneceu boas estimativas volumétricas no presente estudo, atendendo os erros máximos estipulados nos inventários florestais. Porém, houve uma compensação quando se consideram os volumes individuais nas DH's que apresentaram maior exatidão. Foram observadas subestimativas nas partes inferiores do fuste e superestimativas nas partes superiores. Esse comportamento deve ser levado em consideração, quando se utiliza o presente equipamento para estimativas que exigem elevada precisão nas estimativas de volume;
- A utilização do dendrômetro pode ser dificultada em situações de plantios muito densos e/ou com sub-bosque muito fechado, uma vez que se exige determinada distância entre o medidor e a árvore. Esses fatores atuam ainda dificultando a visualização da árvore por parte do medidor, o que pode impossibilitar a medição da mesma;
- A medição dos diâmetros nas posições mais elevadas do fuste não oferecem condições adequadas de ergonomia ao medidor, quando o aparelho está fixado no tripé, principalmente nas posições mais próximas à árvore;
- A cubagem não-destrutiva surge como metodologia de quantificação volumétrica e de biomassa em florestas nativas, podendo-se ter elevada exatidão nas estimativas a serem realizadas. Fato esse muito relevante, principalmente em biomas nos quais não é possível realizar a derrubada de

indivíduos para ajuste de equações volumétricas e de biomassa, como é o caso da Mata Atlântica;

- Na atualidade algumas empresas tem evitado a utilização da colheita semi-mecanizada em seus povoamentos, com a finalidade de prevenir acidentes com seus funcionários, adotando apenas a colheita mecanizada nos desbastes e corte raso. Desta forma, a metodologia não-destrutiva surge como ferramenta de apoio à segurança no trabalho, uma vez que pode fornecer estimativas confiáveis das variáveis quantitativas dos povoamentos em eventuais inventários a serem realizados para levantamentos de estoque, sem que seja necessária a derrubada das árvores.

Analogamente, podem-se tecer algumas recomendações no estudo de determinação de fatores de conversão entre unidades de volume sólido e massa:

- Apesar de variações significativas nos $Fcv-m$ para diferentes tempos de estocagem, as mesmas foram baixas. Porém, em condições de comprimentos de toras menores, locais que apresentem estações secas definidas, ou no caso do mesmo local do estudo, na estação do verão, as variações podem ser ainda mais significativas, podendo exercer maiores impactos no fluxo de caixa de empresas que comercializam madeira e seus compradores;
- As empresas devem realizar amostragens específicas a fim de determinar fatores de conversão próprios, uma vez que os mesmos são variáveis de acordo com peculiaridades de espécies e sítios florestais. A adoção de fatores médios empíricos pode acarretar em erros grosseiros nas estimativas de volume sólido ou massa de madeira, mesmo que a madeira não

fique estocada, considerando que os Fcv-m diferiram em nível de idade e sortimento.

- Em estudos futuros, sugere-se aumentar o esforço amostral, englobando maior número de idades, comprimentos das toras, estações do ano e maiores volumes de pilha, com a finalidade de detectar quais os impactos nos Fcv-m com a variação desses fatores.

- A equação $F_{cv-m} = 0,968824 - 0,0539706 * V1 + 0,0694958 * V2 + 0,00949671 * V3 - 0,0163402 * V4 - 0,00021937 * TE$, pode ser utilizada para estimativa dos Fcv-m com baixos erros relativos. Porém, a equação deve ser usada com cautela, uma vez que os erros das estimativas tenderam a aumentar nos períodos de maior precipitação (acima de 20,7 mm), portanto, sendo recomendada apenas para a época do ano em que o estudo foi realizado e região com característica climática semelhante.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. **Cultivo de Pinus**. Embrapa Florestas, 2. ed. 2011. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus_2ed/>. Acesso em: 01 de jul. 2013.

ANDRADE, A. S. de. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.: influência da idade e classe de produtividade**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ARCE, J.E. **Um sistema de programação do transporte principal de multiprodutos florestais visando a minimização de custos**. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

ARNEY, D. J.; PAYNE, D. P. Tree and stand volumes using height accumulation and telescopic Spiegel-relaskop. **Forest Science**, Washington, v. 18, n. 2, p. 159-168, 1972.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAPEL E CELULOSE – BRACELPA. **Pinus**. 2014. Disponível em: <<http://bracelpa.org.br/bra2/?q=node/137>>. Acesso em: 22 set. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF 2013**: Ano base 2012. Brasília: ABRAF, 2013.

AVERY, T. E.; BURKHART, H. E. **Forest measurements**. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 1997. 408p. (McGraw-Hill series in forest resources).

AVERY, T. H.; BURKHART, H. E. **Forest Measurements.** New York: McGraw-Hill, 331p., 1983.

BARROS, M. V. **Fator de cubicação para madeira empilhada de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, com toretes de dois comprimentos, e sua variação com o tempo de exposição ao ambiente.** 2006. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. O “Estéreo”.
METRVM, Piracicaba – SP, n. 2, 18p. 2002.

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

BENDTSEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products and Wood Science**, v. 28, n. 10, p. 61 – 72, 1978.

BENDTSEN, B. A.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings os plantation-grown eastern cottonwood and Loblolly Pine. **Wood and Fibre Science**, v. 18, n. 1, p. 21-38, 1986.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B. de.; BRITO, J. O.; QUIRINO, W. F. Influência das dimensões da biomassa estocada de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Madein na qualidade do combustível para geração de energia. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 38, n. 1, p. 175-183, 2014.

BROWN, H. P.; PANSHIN, A. J.; FORSAITH, C. C. **Textbook of wood technology.** New York: McGraw – Hill, 1952. 783 p.

CABACINHA, C. D. **Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa.** 2003.

116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais.

CAILLIEZ, F. **Forest volume estimation and yield prediction.** Rome, FAO, v.1, 1980.

CAMPOS, J. C. C. **Dendrometria.** Viçosa: UFV, 1988. 43p.

CANALEZ, G. G. CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Dinâmica da estrutura da comunidade de lauráceas no período 1995-2004 em uma floresta de araucária no sul do estado do Paraná, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 357-367, 2006a.

CANALEZ, G. G. CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R.; BERNI, D. M. Dinâmica da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. e *Ilex paraguariensis* St. Hil. em duas Florestas de Araucária no estado do Paraná, Brasil. **Revista Ambiência**, Guarapuava – PR, v. 2, n. 1, p. 09-22, 2006b.

CARR, W. Use of laser technology for tree measurement – present use and future development. Paper presented at Modern methods of estimating tree and log volumes and increment. **Conference and Workshop (IUFRO S4.02).** June 14-16, West Virginia University, Morgantown, WV, USA, 8 p. 1993.

CARR, W. **Using laser technology for forestry and engineering applications.** Compiler, Morgantown, v. 10, n. 4, p. 5-16. 1992.

CARRILLO, E. G.; FLORES AYALA, E.; LEON, T. J. A. Comparacion de coeficientes de apilamiento para brazuelo

determinados en función del diámetro de las ramas. **Boletín Técnico INIF**, v.103, p.1-13, 1985.

CASTRO, T. N. de.; MONTEIRO, D. R.; BATISTA, J. L. F. Avaliação do aparelho Criterion 400 na cubagem rigorosa de árvores em pé. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 16., 2008. **Anais...** Piracicaba – SP: USP, 2008.

CLARK, N. A.; WYNNE, R. H. SCHMOLDT, D. L. A review of past research on dendrometers. **Forest Science**, Washington, v. 46, n. 4, p. 570-576, 2000.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Erros na medição de altura em povoamentos de *Eucalyptus* em região plana. **IPEF**, n. 39, p. 21-31, 1988b.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Fator de empilhamento para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. **IPEF**, n.38, p.23-27. 1988a.

DITUNO, E. **Criterion model 400 use for strip cruising.** Washington. Forest Service. 1993.

DURLO, M. A. **Relação água-madeira.** In: I SEMINARIO SOBRE SECAGEM DA MADEIRA, Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992.

EDLIN, H. L. The summerwood: springwood ratio in conifers. **Forestry**, London v. 38, n. 1, p. 91 – 112, 1965.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Solos do Estado de Santa Catarina.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 46, 745p.

FAIRWEATHER, S. E. Field tests of the Criterion 400 for hardwood tree diameter measurements. **Northern Journal of Applied Forestry**, v. 12, n. 1, p. 27-29, 1994.

FERREIRA, C. A.; FERREIRA, M. Estudos preliminares sobre a variação da densidade da madeira das espécies do gênero *Pinus*: *Pinus oocarpa*, *Pinus caribea*, *Pinus khasya* e *Pinus elliottii*. **O Solo**, Piracicaba, v. 61, n. 2, p. 39-41, 1969.

FERREIRA, M. C.; FERNANDES, P. S.; SARAIVA FILHO, J. C. Variação na umidade da madeira de eucalipto, estocada em pátios industriais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBS/IBDF/CNPq/FINEP, 1983. p. 779-781.

FIGUEIREDO FILHO, A. SCHAAF, L. B. Comparison between predicted volumes estimated by taper equations and true volumes obtained by the water displacement technique (xylometer). **Canadian Journal of Forest Research**, Toronto, v. 29, p. 451-461, 1999.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; CARNEIRO, M. R. A. Testing accuracy of log volume calculation procedures against water displacement techniques (xylometer). **Canadian Journal of Forest Research**, Toronto, v. 30, n. 6, p. 990-997, 2000.

FISHER, F.; SCOLFORO J. R. S.; ARCEBI JUNIOR, F. W.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 167-188, 2001.

FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G.; MILANEZ, A. F. Estudo comparativo de madeiras de *Eucalyptus saligna*, *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. teriticornis* para produção de celulose Sulfato. IPEF, Piracicaba, n. 10, p. 17-37, 1975.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Manual of forest inventory, with special reference to mixed tropical forest.** Roma, 1973. 200p.

FREITAS, A. G.; WICHERT, M. C. P. Comparação entre instrumentos tradicionais de medição de diâmetro e altura com o Criterion 400. IPEF, **Circular Técnica**, n. 188, Piracicaba, p. 1-7, 1998.

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

GARBE, E. A. **Fatores Influentes na Secagem Convencional de *Pinus taeda* com Ênfase em Trincas Superficiais.** 2006. 39 p. Monografia (Curso de Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

GOMES, A. M. A. **Medição dos arvoredos.** Lisboa: Livraria Sá da Costa, 1957. 413p.

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTII, V. **Forest nutrition and fertilization.** Piracicaba: IPEF, 2000. 421 p.

GOULDING, C. J. Cubic spline curves and calculation of volume sectionally measured trees. **New Zealand Journal of Forest Science**, Melbourne, v. 9, p. 89-99, 1979.

GUPTA, P. K.; DURZAN, D. J. **Loblolly pine (*Pinus taeda* L.)**. In. BAJAJ Y. P. S. (ed) Biotechnology in Agriculture and Forestry, Trees III. Springer, Verlag Berlin Heidelberg New York, v. 16, p. 383-407, 1991.

HEGER, L. Longitudinal variation of specific gravity in stems of black spruce, balsan fir an lodgepole pine. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 4, n. 30, p. 321-326, 1974.

HIGA, A. R.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *P. elliottii* var. *elliotti* e *P. taeda*. **IPEF**, n. 7, p. 79-91, 1973.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest Mensuration**. New York: John Wiley & Sons, ed. 3, 402p., 1982.

INMETRO. **Portaria INMETRO n° 238**. 2013. Disponível em:
[<http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/folder_portarias/portarias_inmetro/2013/pinmetro%20238%20-%20202013.xml>](http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/folder_portarias/portarias_inmetro/2013/pinmetro%20238%20-%20202013.xml).
Acesso 16 de janeiro de 2014.

IPF. **Proposta de portaria do INMETRO prevê a proibição da utilização do estéreo em 2010**. IPF Notícias. Jun./ago., 1999. 11p.

IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D. P.; LEONHARDT, G.; BRAND, M. A. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de pinus tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 71-77, 2001.

JANKOWSKY, I. P. Madeira juvenil: formação e aproveitamento industrial. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 81, p. 1-8, 1979.

JESUS, C. M. de.; MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A.; ENCINAS, J. I. Avaliação de diferentes hipsômetros para medição da altura total em um povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 291-299, 2012.

JIRJIS, R. Effects of particle size and pile height on storage and fuel quality of comminuted *Salix viminalis*. **Biomass and Bioenergy**, v. 28, n. 1, p. 193-201, 2005.

JOHNSTONE, W. D. Some variation in specific gravity and moisture content of 100-years-old lodgepole pine trees. **Information report**. Forest Research Laboratory, 1970.

KALLIOVIRTA, J.; LAASASENAHO, J.; KANGAS, A. Evaluation of the Laser-relascope. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 204, p. 181-194, 2005.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Shiede e *Pinus caribaea* Morelet var *hondurensis* Barr e Golf.** 1989. 143 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do Pinus no Brasil.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005. 158 p.

LARSON, P. R. **Wood formation and the concept of wood quality.** New Haven: Yale University. School of Forestry, 1969. 53 p.

LASER TECHNOLOGY INC. **Criterion RD1000 User's Manual**, 2005.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equação volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 26, n. 3, p. 321-328, 2002.

LEITE, H. G.; VITAL, B. R.; GOMES, A. N. Teor de umidade da madeira de eucalipto em função do tempo de estocagem. **Revista O Papel**, v. 61, n. 10, p. 87-100, 2000.

LEMA, C. N.; KITALI, M. M.; KLEM, G. S. Basic density and its variation within and between trees of pine (*Pinus patula*) and cypress (*Cupressus lusitanica*) in the Meru Forest Project. Morogoro: University Dar es Salaam, 1978. Apud: **Forestry Abstracts**, Oxford, v. 1, n. 5, 1980.

LIU, C. J.; HUANG, X.; EICHEMBERGER, J. K. **Using laser technology for measuring trees**. Paper presented at Modern Methods of estimating trees and log volumes and increment. **Conference and Workshop** (IUFRO S4.02). June 14-16, West Virginia University, Morgantown, WV, USA, 13p. 1993.

LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população. **Scientia Forestalis**, Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, n. 62, dez. 2002, p. 13-23.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2 ed. Guarapuava: Unicentro, 2014. 316 p.

MACHADO, S. A.; NADOLNY, M. C. Acuracidade da cubagem de árvores pelos métodos de Hohenadl, FAO e Gráfico, comparativamente ao xilômetro. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1./ CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, p. 478-480, 1993.

MACHADO, S. A.; NADOLNY, M. C. Comparação de métodos de cubagem de árvores e de diversos comprimentos de seção. In: CONGRESSO FLORESTAL E DO MEIO AMBIENTE DO PARANÁ, 3., 1991, Curitiba. **Anais...** Curitiba: APEF, v. 1, p. 89-104, 1991.

MACHADO, S. A.; SANTOS, A. A. P.; ZAMIN, N. T. ; SILVA, L. C. R. Evolução do Sortimento de *Pinus oocarpa* na Região Sudoeste do Estado de São Paulo. In: 5º Simpósio Latino-americano sobre Manejo Florestal, 2011, Santa Maria. **Anais do 5º Simpósio Latino-americano sobre Manejo Florestal**, 2011. v. 5. p. 194-203.

MACIEL, R. Recebimento de madeira por peso: problemas e perspectivas. In: SIMPÓSIO SOBRE INVENTÁRIO FLORESTAL, 2, 1984. **Anais...** Piracicaba, IPEF, p. 51-5, 1984.

MANLY, B. F. J. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução.** 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 229 p.

MARTIN, A. J.; Testing volume equation accuracy with water displacement techniques. **Forest Science**, Washington, v. 30, n. 4, p. 41-50, 1984.

MARTINS, V. A. **Secagem de madeira serrada.** Brasília: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1988. 52 p.

MORTATTI, J.; FERRAZ, E. S. B. Localização da água nos anéis de crescimento de *Pinus taeda* durante a secagem. In: ENCONTRO NACIONAL DE SECAGEM, 3., 1981, Viçosa – MG. **Anais...** CENTREINAR: Universidade Federal de Viçosa, 1981, p. 108-118.

MUÑIZ, G. L. B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus taeda* L.** 1993. 126p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, PR.

NICOLETTI, M. F. **Comparação de métodos não-destrutivos de cubagem de árvores em pé visando a determinação da biomassa.** 2011. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo.

OLIVEIRA, F. L. de.; LIMA, I. L. de.; GARCIA, J. N.; FLORSHEIM, S. M. B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 18, p. 59-70, 2006.

OLIVEIRA, K. A. de.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R.; MOGNON, F. Desempenho de diferentes instrumentos para mensuração de altura total, DAP, e volume em *Cryptomeria japonica* (THUNB. EX L. F.) D. DON. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 21./ EVENTO DE INICIAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO, 6., 2013. **Livro de Resumos...** Curitiba: UFPR, p. 443, 2013.

PARKER, R. C. Nondestructive Sampling Applications of the Tele-Relaskop in Forest Inventory. **Southern Journal of Applied Forestry**, Washington, v. 21, n. 2, p. 75-83, 1997.

- PARKER, R. C.; MATNEY, T. G. Comparison of Optical Dendrometers for Prediction of Standing Tree Volume. **Southern Journal of Applied Forestry**. Washington, v. 23, n. 2, p. 407-417, 1998.
- PAULA, F. de; REZENDE, A. V. Equações de fatores de empilhamento e tabelas de volumes em metros estere para árvores individuais. **Revista Árvore**, v.16, n.1, p.72-87, 1992.
- PEARSON, N. C.; GILMORE, R. C. Characterization of the strenght of juvenile wood of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). **Forest Products Journal**, Madison, v. 21, n. 1, p. 23-31, 1971.
- PEREZ R., D. N. Errores en al medicion de alturas totales com Clinometro Suunto y un vara de longitude conocida. **Tatascan**, v. 6, n. 1, p. 25-30, 1989.
- PHILLIPS, D. R.; TARAS, M. A. Accuracyof log volume estimates by density and formulas copared with water displacement. **Forest Products Journal**, Morgantown, v. 37, n. 10, p. 37-42, 1987.
- PLUMB, O. A.; BROWN, C. A.; OLMSTEAD, B. A. Experimental measurements of heat and mass transfer during convective drying of southern pine. **Wood Science and Technology**, v. 15, n. 3, p. 189-199, 1984.
- PONCE, R. H.; WATAI, L. T. **Manual de secagem da madeira**. São Paulo. Secretaria de Tecnologia Industrial/ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1985. 70 p.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for

Statistical Computing, Vienna, Áustria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>. Acesso em 15 de outubro de 2014.

RASMUSSEN, E. F. **Dry klin operator's manual.** Washington: USDA. Forest Service. Forest Products Laboratory, 1961. 197 p. (Handbook, 188).

REVISTA DA MADEIRA – REMADE. **Espécies.** 99. ed. 2006. Disponível em:

<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=952&subject=Esp%C3%ACcies&title=Pinus%20na%20silvicultura%20brasileira>. Acesso em: 22 set. 2014.

REZENDE, A. V.; PAULA, F. de. Estudo do comportamento dos fatores de empilhamento para *Eucalyptus grandis* em função do tempo de secagem dos toros nas pilhas. **Revista Árvore**, v.15, n.3, p. 274-284, 1991.

REZENDE, M. A. Retratibilidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis* e suas relações com a umidade e densidade. **Scientia Forestalis**, Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, n. 64-127, Piracicaba, 2003. 120p.

REZENDE, M. A. **Uma abordagem não convencional das principais características físicas da madeira com ênfase para a retratibilidade, densidade e técnica de atenuação da radiação gama.** Instituto de Biociências. Universidade Estadual Paulista, 144p. Botucatu, 1997.

RODRIGUEZ, F.; LIZARRALDE, I.; FERNÁNDEZ-LANDA, A.; CONDÉS, S. Non-destructive measurement techniques for taper equation development: a study case in the

Spanish Northern Iberian Range. **European Journal of Forest Research**, v. 133, n. 2, p. 213 – 223, 2013.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; EISFELD, R. L. Crescimento, mortalidade e recrutamento em duas florestas de Araucária (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.) no Estado do Paraná, Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava – PR, vol. 5, n. 1, p. 101-112, 2003.

SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; RODRIGUES, A. L.; WATZLAWICK, L. F. **Inventários florestais: planejamento e execução**. 3 ed. Curitiba: Multi-Graphic, 2014. 406 p.

SANTINI, E. J. I. **Seminário sobre secagem de madeira**. UFSM/CEPEF/FATEC, Santa Maria, 1992. 100p.

SCHÖNAU, A. P. G.; VAN THEMAAT, R. V. Preliminary results of investigations into the air-drying of debarked logs of four eucalyptus species in the natal Midlands. **South African Forestry Journal**, v. 107, n. 1, p. 15-21, 1978.

SCHREUDER, H. T.; GREGOIRE, T. G.; WOOD, G. B. **Sampling Methods for Multiresource Forest Inventory**. John Wiley & Sons, Inc. New York. 446 p. 1993.

SCHULTZ, R. I. Genetics and tree improvement. In: SCHULTZ, R. I. **Loblolly pine: the ecology and culture of loblolly pine (*Pinus taeda* L.)**. New Orleans: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, p. 1-50, 1997.

SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Mensuração Florestal II: Volumetria**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 126p.

SCOLFORO, J. R.; RIOS, M. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil do fuste de *Pinus elliottii*. **Cerne**, Lavras – MG, v. 4, n. 1, p. 100-122, 1998.

SELLERS JUNIOR, T. Factors influencing the wood quality of plantation-grown slash pine. **Forest Products Journal**, Madison, v. 12, n. 9, p. 443-446, 1962.

SHIMIZU, J. H. Pinus na silvicultura brasileira. **Revista Madeira**, Curitiba, ano 16, n. 99, p. 4-14, set. 2006.

SHIMIZU, J. Y.; SEBBENN, A. M. Espécies de pírus na silvicultura brasileira. In: SHIMIZU, J. Y. (Ed.). **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 49-74.

SHIMIZU, J.Y. & HIGA, A.R. Variação racial do *P. taeda* L. no Sul do Brasil até o sexto ano de idade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, 2: 1-25, 1981.

SIQUEIRA, K. P. de. **Variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítio.** 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SKOVSGAARD, J. P.; JOHANNSEN, V. K.; VANCLAY, J. K. Accuracy and precision of two laser dendrometers. **Forestry**, v. 71, n. 2, p. 131–139, 1998.

STERNADT, G.H. Cubagem de toras de mogno – Comparação do processo do IBAMA e o adotado por madeireiras. 2001. 100 p: ill. **Livro – IBAMA – Laboratório de Produtos Florestais**, 2001.

TANG, W.; OUYANG, F.; GUO, Z.. Plant regeneration through organogenesis from callus induced from mature zygotic embryos of loblolly pine. **Plant Cell Reports**, v. 17, p. 557-560, 1998.

TARAS, M.A. Buying pulpwood by weight as compared with volume measure. **USDA**.

Forest Service. SE research paper, Asheville, n. 74, p. 1-11, 1956.

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319 – 327, 2006.

THÖRNQVIST, T. Wood fuel storage in large piles – Mechanisms and risks of self-ignition. In: IEA/ BE CONFERENCE TASK III/Activity 6 and 7., 1988, Sweden. **Proceedings...** Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Operational Efficiency, 1988. p.193-

TOMASELLI, I. **Qualidade da madeira de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* e sua correlação com as propriedades do papel**. Relatório Final. Convênio FINEP, UFPR, n. 18, p. 157 – 161, Curitiba, 1979.

TORQUATO, M. C. Fator de empilhamento – implicações técnicas na medição da madeira empilhada. **Silvicultura**, v.8, n.30, p. 230-233, 1983.

TRENDELENBURG, R.; MAYER-WEGELIN, H. **Das Holz als Rohstoff**. Munchen: Carl Hanser Verlag, 1956. 541 p.

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

UPRICHARD, J. M. Pulps from New Zeland grown *Pinus patula* and *Pinus taeda*. **Appita**, Malbourne, v. 24, n. 1, p. 52-59, 1970.

VICINI, L.; SOUZA, A. M. **Análise multivariada da teoria à prática.** Santa Maria: UFSM, 2005. 215 p.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; VALENTE, O. F. Estimativa do teor de umidade de lenha para carvão em função do tempo de secagem. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 9, n. 1, p. 10-27, jan./jun. 1985.

WAHLGREN, H. E.; FASSNACHT, D. L. **Estimating tree specific gravity from a single increment core.** Madison: USDA. Forest Service. 1959. 25 p.

WHEELER, P. R. Pentaprism Caliper for upper stem diameter measurements. **Journal of Forestry**, Washington, n. 60, p. 877-878, 1962.

WILLIAMS, M. S.; CORMIER, K.; BRIGGS, R. MARTINEZ, D. Evaluation of the Barr & Stroud FP15 and Criterion 400 laser dendrometers for measuring upper stem diameters and heights. **Forest Science**, v. 45, n. 1, p. 53-61, 1999.

XAVIER, J. A. **Variabilidade da massa específica básica de *Pinus taeda* L. em diferentes idades de plantio.** 2009. 26 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira), Universidade Federal do Paraná, PR.

YOUNG, H. E.; ROBBINS, W. C.; WILSON, S. Errors in volume determination of primary forest products. **Pulp & Paper Magazine of Canada**, Quebec, v. 68, p. 389-394, 1967.

ZOBEL, B.J. **Developing trees with qualities most desirable for paper.** Gainsville: IUFRO, 1971. 26p.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Coeficientes da correlação de Pearson entre Fcv-m e variáveis ambientais, considerando para temperatura e umidade relativa do ar as médias dos dois dias retroativos às medições e para precipitação o somatório das chuvas no mesmo período.

Variáveis	Fcv-m méd	T° A 9h	T° A 13h	T° A 17h	A méd	T° Máx 9h	T° Máx 13h	T° Máx 17h	T° Méd 9h	T° Min 9h	T° Min 13h	T° Min 17h	T° Méd méd	UR 9h	UR 13h	UR 17h	UR méd	P
Fcv-m méd	1,00	0,61	0,32	0,44	0,46	0,44	0,25	0,31	0,40	0,67	0,56	0,48	0,69	0,23	0,59	0,55	0,58	0,83
T° A 9h		1,00	0,92	0,98	0,98	0,95	0,89	0,92	0,96	0,95	1,00	0,96	0,94	-0,20	-0,18	-0,13	-0,20	0,12
T° A 13h			1,00	0,93	0,97	0,94	1,00	0,99	0,98	0,79	0,94	0,89	0,78	-0,12	-0,53	-0,30	-0,43	-0,18
T° A 17h				1,00	0,99	0,97	0,92	0,95	0,98	0,91	0,98	0,96	0,89	-0,32	-0,31	-0,29	-0,35	-0,06
T° A méd					1,00	0,97	0,96	0,98	0,99	0,89	0,99	0,95	0,88	-0,21	-0,36	-0,26	-0,34	-0,05
T° Máx 9h						1,00	0,93	0,95	0,97	0,90	0,97	0,91	0,88	-0,11	-0,30	-0,16	-0,25	-0,10
T° Máx 13h							1,00	0,99	0,97	0,74	0,91	0,85	0,73	-0,15	-0,58	-0,37	-0,49	-0,23
T° Máx 17h								1,00	0,99	0,79	0,94	0,88	0,77	-0,21	-0,52	-0,37	-0,47	-0,18
T° Máx méd									1,00	0,84	0,97	0,91	0,83	-0,22	-0,42	-0,32	-0,40	-0,09
T° Mín 9h										1,00	0,94	0,94	1,00	-0,10	0,03	0,09	0,03	0,15
T° Mín 13h											1,00	0,97	0,93	-0,19	-0,24	-0,16	-0,23	0,05
T° Mín 17h												1,00	0,94	-0,29	-0,26	-0,19	-0,27	-0,04
T° Mín méd													1,00	-0,08	0,05	0,12	0,05	0,18
UR 9h														1,00	0,27	0,80	0,67	0,25
UR 13h															1,00	0,75	0,89	0,78
UR 17h																1,00	0,96	0,58
UR méd																	1,00	0,70
P																		1,00

Fonte: produção do próprio autor

APÊNDICE B – Coeficientes da correlação de Pearson entre Fcv-m e variáveis ambientais, considerando para temperatura e umidade relativa do ar as médias das quatro dias retroativos às medições e para precipitação o somatório das chuvas no mesmo período.

Variáveis	Fcv-m méd	T° A 9h	T° A 13h	T° A 17h	T° A méd	T° Máx 9h	T° Máx 13h	T° Máx 17h	T° Máx méd	T° Mín 9h	T° Mín 13h	T° Mín 17h	T° Mín méd	UR 9h	UR 13h	UR 17h	UR méd	P
Fcv-m méd	1,00	0,75	0,70	0,68	0,58	0,81	0,78	0,69	0,67	0,81	0,81	0,75	0,66	0,42	0,31	0,60	-0,07	0,76
T° A 9h		1,00	0,98	0,92	0,95	0,98	0,96	0,95	0,96	0,94	0,99	0,94	0,93	0,04	-0,36	0,13	-0,69	0,29
T° A 13h			1,00	0,96	0,96	0,96	0,97	0,99	0,97	0,97	0,98	0,98	0,95	0,12	-0,37	0,14	-0,68	0,16
T° A 17h				1,00	0,94	0,95	0,90	0,95	0,92	0,92	0,94	0,98	0,89	0,17	-0,27	0,05	-0,64	0,07
T° A méd					1,00	0,90	0,87	0,93	0,98	0,90	0,93	0,91	0,96	-0,14	-0,54	-0,12	-0,76	0,06
T° Máx 9h						1,00	0,96	0,94	0,91	0,94	0,99	0,96	0,87	0,20	-0,18	0,22	-0,61	0,33
T° Máx 13h							1,00	0,97	0,91	0,97	0,97	0,96	0,89	0,27	-0,23	0,36	-0,57	0,33
T° Máx 17h								1,00	0,96	0,98	0,96	0,98	0,95	0,18	-0,35	0,19	-0,63	0,15
T° Máx méd									1,00	0,95	0,96	0,92	0,99	-0,07	-0,46	0,03	-0,65	0,20
T° Mín 9h										1,00	0,97	0,97	0,95	0,24	-0,21	0,32	-0,47	0,33
T° Mín 13h											1,00	0,96	0,93	0,12	-0,27	0,21	-0,61	0,34
T° Mín 17h												1,00	0,91	0,27	-0,22	0,21	-0,58	0,17
T° Mín méd													1,00	-0,06	-0,45	0,04	-0,59	0,19
UR 9h														1,00	0,72	0,81	0,38	0,25
UR 13h															1,00	0,66	0,78	0,49
UR 17h																1,00	0,47	0,69
UR méd																	1,00	0,33
P																		1,00

Fonte: produção do próprio autor